RIEC

Annual Report 2010

研究活動報告

第17号（2010年度）



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

目　　次

【本編】

第 1 章　緒言…… 1

第 2 章　組織・運営
1 項　組織図…… 3
2 項　運営協議会名簿…… 4
3 項　共同研究組織…… 5
4 項　教育組織…… 6

第 3 章　研究活動
1 節　情報デバイス研究部門の目標と成果…… 7
1 項　ナノフォトエレクトロニクス研究室…… 8
2 項　量子光情報工学研究室…… 10
3 項　固体電子工学研究室…… 12
4 項　誘電ナノデバイス研究室…… 14
5 項　物性機能設計研究室…… 16
2 節　ブロードバンド工学研究部門の目標と成果…… 18
1 項　超高速光通信研究室…… 20
2 項　応用量子光学研究室…… 22
3 項　先端ワイヤレス通信技術研究室…… 24
4 項　情報ストレージシステム研究室…… 26
5 項　超ブロードバンド信号処理研究室…… 28
6 項　ブロードバンド通信基盤技術研究室…… 30
3 節　人間情報システム研究部門の目標と成果…… 34
1 項　生体電磁情報研究室…… 36
2 項　先端音情報システム研究室…… 38
3 項　高次視覚情報システム研究室…… 40
4 項　先端情報通信領域創成研究室…… 42
5 項　ユビキタス通信システム研究室…… 44
4 節　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果…… 46
1 項　ソフトウェア構成研究室…… 48
2 項　コンピューティング情報理論研究室…… 50
3 項　コミュニケーションネットワーク研究室…… 52
4 項　情報コンテンツ研究室…… 54
5 項　情報社会構造研究室…… 56
5 節　寄附研究部門…… 60
1 項　環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門…… 61
6 節　ナノ・スピン実験施設の目標と成果…… 63
1 項　ナノヘテロプロセス研究室…… 67
2 項　半導体スピントロニクス研究室…… 69
3 項　ナノ分子デバイス研究室…… 71
4 項　ナノスピンメモリ研究室…… 73
7 節　ブレインウェア実験施設の目標と成果…… 75
1 項　実世界コンピューティング研究室…… 77
2 項　知的ナノ集積システム研究室…… 79

3項　マイクロアーキテクチャ研究室…… 81
4項　新概念ＶＬＳＩシステム研究室…… 83
8節　２１世紀情報通信研究開発センターの目標と成果…… 85
1項　研究開発部 モバイル分野 …… 87
2項　研究開発部 ストレージ分野 …… 89
9節　安全衛生管理室…… 91
10節　やわらかい情報システム研究センター…… 93
11節　研究基盤技術センター…… 95

第4章　独創的研究支援プログラム
1節　窒化物半導体によるミリ波用トランジスタの研究…… 97
2節　自己身体表象を考慮した人間のマルチモーダル感覚知覚処理機能の解明とモデル化：
視覚と触覚のインタラクション…… 99

第5章　共同プロジェクト研究
1節　共同プロジェクト研究の理念と概要…… 103
H20／A01　プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究…… 107
H20／A03　ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御 …… 112
H20／A04　Ⅳ族半導体高度歪制ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究…… 115
H20／A06　知的ナノ集積システムとその応用に関する研究…… 118
H20／A07　有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究…… 121
H20／A08　イオンチャネルチップに関する研究…… 123
H20／A09　人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究…… 126
H20／A10　バイノーラル技術における音像定位の学習効果…… 129
H20／A11　赤外光を用いた細胞チップに関する研究…… 132
H20／A13　傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究…… 135
H20／A14　高度映像コンテンツ検索技術に関する研究…… 137
H21／A01　環境負荷低減に資する超伝導計算機技術に関する研究…… 140
H21／A02　金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究…… 143
H21／A04　超音波マイクロスペクトロスコピーおよび圧電共振・反共振法によるランガサイト系
圧電単結晶の評価と高温用センサーへの応用…… 146
H21／A05　電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究…… 149
H21／A06　自己組織化マルチナノピラー構造による STT マイクロ波発振とその応用に関する
研究…… 152
H21／A08　直列接続共鳴トンネル素子を用いた高性能 THz 信号源の研究 …… 155
H21／A09　様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発…… 158
H21／A10　3次元音響空間におけるコミュニケーションの高度化に関する研究…… 161
H21／A11　視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究…… 164
H21／A12　シナリオ・ツー・アニメ技術に関する研究…… 167
H21／A13　センサークラウドによる持続性のある情報化社会基盤の構築に関する研究…… 170
H22／A01　グラフェンを利用したテラヘルツ帯光電子デバイスに関する研究…… 173
H22／A02　ゲルマニウム系量子ドットの形成および価電子制御とナノスケール機能メモリ応用 …… 176
H22／A03　電気磁気および磁気弾性効果の計算機物質設計とデバイス応用…… 179
H22／A04　InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器高効率化の研究 …… 182
H22／A05　電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出…… 185
H22／A06　負のスピン分極材料を用いたスピントロニクスデバイスの研究…… 187
H22／A07　高飽和磁化純鉄ナノ粒子の化学合成とその集合体の軟磁気特性…… 190
H22／A08　パーソナル音響テレプレゼンスシステムの研究…… 193
H22／A09　人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報処理システムに関する研究…… 195

H22／A10　ストレス応答に対する自然音の影響…… 198
H22／A11　音空間バーチャルリアリティを用いたユニバーサル音空間訓練システムの構築…… 201
H22／A12　周波数領域両耳聴モデルにおける指向性特性制御に関する研究…… 204
H22／A13　ブレインウェアシステムの研究…… 207
H22／A14　ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究…… 210
H22／A15　利用者適応型コミュニケーション技術のための利用者の注意と情動モデルの確立とその応用…… 213
H22／A16　共生コンピューティングに基づく実世界指向アプリケーションの高度化に関する研究…… 216
H20／B02　高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用…… 219
H20／B03　新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究…… 222
H20／B04　ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究…… 225
H20／B08　光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究…… 228
H20／B09　次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究…… 231
H20／B10　高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフトウェアの開発…… 234
H21／B01　プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用…… 237
H21／B02　次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究…… 240
H21／B03　小電力無線通信方式…… 243
H21／B04　複素ニューラルネットワークの実用化…… 246
H21／B05　人間と調和性の高い情報システム構築のための人間特性理解…… 249
H21／B06　視覚科学の学際的アプローチに向けて…… 252
H21／B07　ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究…… 255
H21／B08　生物の適応的運動機序の解明と工学的応用…… 258
H21／B09　不揮発性ビット演算大規模コンピューティングの創造開拓…… 261
H21／B10　次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究…… 264
H21／B11　新概念 VLSI システムとそのシステムインテグレーション技術…… 267
H22／B01　次世代第一原理計算手法の開発・応用…… 270
H22／B02　微粒子プラズマの応用とその基礎研究…… 273
H22／B03　ナノ構造磁性材料の開発と MEMS への応用に関する研究 …… 276
H22／B04　生体情報インタフェース創生のためのフォトニクス研究…… 279
H22／B05　ナノスケールのゆらぎ・電子相関制御に基づく新規ナノデバイス…… 282
H22／B06　High-Q マイクロ波超伝導共振器を用いた大規模量子検出アレイに関する研究 …… 285
H22／B07　ミリ波応用システム実用化のための課題と展望…… 288
H22／B08　生命にとっての情報・推論・計算の解明と工学的応用の検討…… 291
H22／B09　物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究…… 294
H22／B10　論理学的手法に基くプログラム検証技術…… 297
H22／B11　民生用合成開口レーダシステムの開発と応用…… 300
H20／S01　スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発…… 303
H20／S02　スピントロニクス連携ネットワーク…… 306
H21／S1　人間の機能を取り込んだ革新的概念による情報通信システム…… 309

第 6 章　国際会議・シンポジウム等

1 節　通研国際シンポジウム…… 313
1 項　グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム…… 313
（2nd RIEC International Symposium on Graphene Devices (ISGD2010)）
2 項　第 9 回日韓表面ナノ構造シンポジウム…… 314
（9th Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructures （JKSSN9））

3項　第7回RIECスピントロニクス国際ワークショップ　…… 315
（The 7th RIEC International Workshop on Spintronics）
2節　国際会議等の開催状況…… 316
1項　第5回SiGeテクノロジー＆デバイス国際会議 …… 316
2項　第4回ECS SiGe, Ge, 関連化合物：材料・プロセス・デバイス国際会議 …… 317
3項　第7回エンターテイメントコンピューティングに関する国際会議　ACE2010 …… 318
4項　第17回バーチャルリアリティのソフトウェアと技術に関する国際会議 VRST2010 …… 319
5項　第4回日仏超臨場バーチャルリアリティワークショップ…… 320
3節　工学研究会…… 321
1項　伝送工学研究会…… 322
2項　音響工学研究会…… 326
3項　仙台“プラズマフォーラム”…… 327
4項　ＥＭＣ仙台ゼミナール…… 328
5項　コンピュータサイエンス研究会…… 329
6項　システム制御研究会…… 330
7項　情報バイオトロニクス研究会…… 331
8項　スピニクス研究会…… 332
9項　ニューパラダイムコンピューティング研究会…… 333
10項　超音波エレクトロニクス研究会…… 334
11項　ブレインウェア工学研究会…… 337
12項　情報・数物研究会…… 338
13項　生体・生命工学研究会…… 339
14項　ナノ・スピン工学研究会…… 340
4節　通研講演会…… 343
1項　石原　浩一　ディジタルコヒーレント光伝送における周波数領域等化技術…… 343
2項　坂本　真一　「聴覚」から始める新ビジネス〜カラーマーケティングからオトマーケティングへ〜…… 344
3項　伊藤　公孝　非平衡極限プラズマとプラズマ乱流の研究について…… 345
4項　久我　宣裕　マイクロ波帯における相互変調ひずみとその測定法について…… 346
5項　定兼　邦彦　簡潔木のデータ構造と文法圧縮…… 346
6項　杉町　　勝　心不全治療における循環制御…… 347
7項　越田　信義　ナノシリコンと有機色素とのコンポジットにおけるエネルギー伝達…… 348
8項　佐藤　敏郎　高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究…… 349
9項　若林　一敏　ソフトウェア向けＣコンパイラとハードウェア向けＣコンパイラ〜再構成チップ適用を通じて，本質的な相違点を考える〜…… 349
10項　加保　貴奈　将来の無線センサネットワークへ向けた取り組み…… 350
11項　我妻　広明　意志決定における時間とその神経基盤：脳型ロボットによるアプローチ…… 350
12項　林　初男、佐村　俊和　ニューロン活動の一方向伝搬に対するスパイクタイミングに依存したシナプス可塑性と抑制性ニューロンの役割…… 351
13項　畑　　豊　ファジィ理論を用いた脳診断システムの開発とその臨床応用…… 351
14項　井上　純一　量子モンテカルロ法の確率過程に従うスピン系のマクロ変数の発展方程式…… 352
15項　岡田　真人　マルコフランダムフィールド（MRF）モデルの広がり——MRFの脳科学と地球科学への適用—— …… 352
16項　池谷　裕二　脳回路の自発性に潜むルール…… 353
17項　佐々木　雅英　量子情報通信ネットワークの最近の進展…… 354

第 7 章　評価と分析
1 節　運営協議会報告 …… 355
2 節　過去の運営協議会委員名簿 …… 361

第 8 章　結言 …… 363

【資料編】

第 1 章　予算の概要 …… 365
1 節　競争的資金の獲得状況 …… 366
2 節　非常勤研究員経費 …… 376
3 節　奨学寄附金の受け入れ …… 377

第 2 章　研究・学会活動状況 …… 378
1 節　国際活動 …… 378
2 節　発表論文数 …… 379
3 節　学会役員一覧 …… 380
4 節　外国の大学等との学術交流協定締結一覧 …… 382
5 節　学振特別研究員及び研究所研究員 …… 384
6 節　特別研究員・大学院生の受入状況 …… 386
7 節　広報活動と情報公開 …… 387

第 3 章　論文題目 …… 388
1 節　修士論文題目 …… 388
2 節　博士論文題目 …… 392

第 4 章　受章・受賞 …… 393
1 節　本年度の受章・受賞者 …… 393
2 節　学会フェロー …… 396

第 5 章　トピックス …… 397

付　録　教員の最終学歴一覧表 …… 400
教員の充足率 …… 401
構成員 …… 402

第 1 章　緒　言

緒　　言

日頃から、東北大学電気通信研究所の研究活動には一方ならぬご高配、ご支援を賜り、厚くお礼申し上げます。さて、ここに本研究所の２０１０年度研究活動を報告書として取りまとめましたのでご高覧頂き、ご意見、ご感想などを頂ければ誠に嬉しく思います。

電気通信研究所は、八木・宇田アンテナやマグネトロンなど本学における情報通信の先駆的研究を受けて、１９３５年に工学部附属電気通信研究所として設置された組織であります。以来、「高次情報通信の学理およびその応用の研究」をその使命として掲げ、情報通信に関する成果を社会に還元してきました。人と人との密接かつ円滑なコミュニケーションは、人間性豊かな社会の発展のための基盤であり、それを支える情報通信技術は、情報化社会の今日においてますますその重要性を増しています。このため、研究所の組織を、２０年先を見据えた研究を行う４大研究部門、１０年先を見据えて活動する２実験施設、そして５年後の実用化を目指す研究開発センターの３体制とし、社会の要請に応えられるようにしています。さらに、大学院工学研究科、情報科学研究科および医工学研究科の電気情報系６専攻との密接な連携の下、最先端の研究を推進するとともに、国際的研究者および高度な技術者を輩出するよう務めています。

大学の法人化と共に附置研究所も大きく変わりつつあります。２０１０年４月からは全国共同利用の研究所から共同利用・共同研究拠点として新たな第一歩を踏み出しています。このことは大学における研究所の重要性を明確に示すチャンスであると同時に、その存在意義を問われ世の中からの評価にさらされる厳しい時期でもあります。研究所内での各種連携ならびにＡ、Ｂ、Ｓ、更には３．１１東日本大震災に対する創造的復興に向けて新たにＵと名付られた総数７０以上の共同研究プロジェクト運営により産官との技術交流・連携を加速し、人間性豊かなコミュニケーションの実現を目指して頑張っていく所存であります。

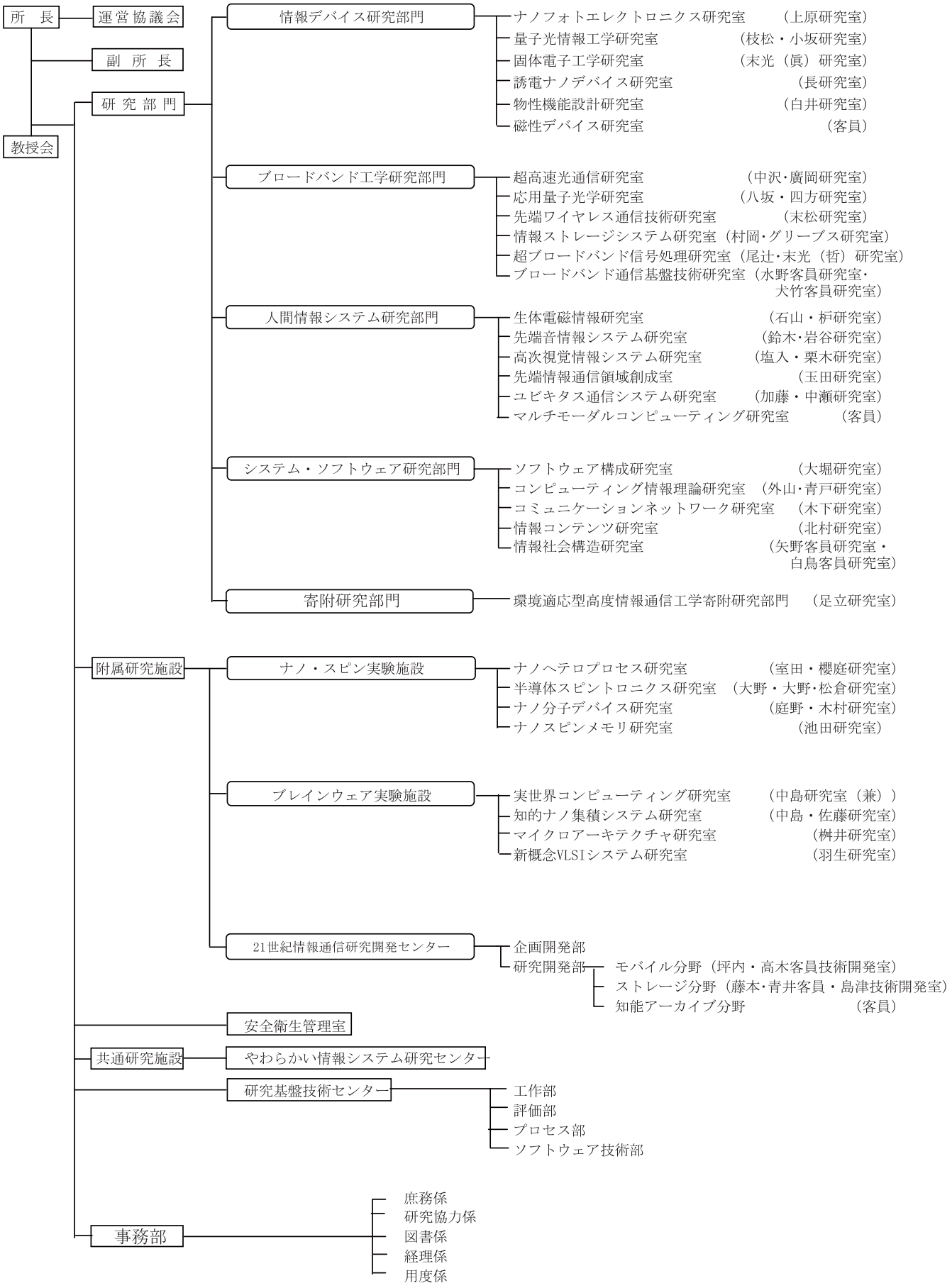
今後ともご指導・ご鞭撻の程宜しくお願い申し上げます。

平成 23 年７月４日

東北大学電気通信研究所所長　中　沢　正　隆

第 2 章　　組織・運営

2．1　組　　織　　図


所　長
運営協議会
副　所　長
研　究　部　門
教授会
情報デバイス研究部門
ナノフォトエレクトロニクス研究室　（上原研究室）
量子光情報工学研究室　（枝松・小坂研究室）
固体電子工学研究室　（末光（眞）研究室）
誘電ナノデバイス研究室　（長研究室）
物性機能設計研究室　（白井研究室）
磁性デバイス研究室　（客員）
ブロードバンド工学研究部門
超高速光通信研究室　（中沢･廣岡研究室）
応用量子光学研究室　（八坂・四方研究室）
先端ワイヤレス通信技術研究室　（末松研究室）
情報ストレージシステム研究室（村岡･グリーブス研究室）
超ブロードバンド信号処理研究室（尾辻･末光（哲）研究室）
ブロードバンド通信基盤技術研究室（水野客員研究室･
犬竹客員研究室）
人間情報システム研究部門
生体電磁情報研究室　（石山・栫研究室）
先端音情報システム研究室　（鈴木･岩谷研究室）
高次視覚情報システム研究室　（塩入・栗木研究室）
先端情報通信領域創成室　（玉田研究室）
ユビキタス通信システム研究室　（加藤・中瀬研究室）
マルチモーダルコンピューティング研究室　（客員）
システム・ソフトウェア研究部門
ソフトウェア構成研究室　（大堀研究室）
コンピューティング情報理論研究室　（外山･青戸研究室）
コミュニケーションネットワーク研究室　（木下研究室）
情報コンテンツ研究室　（北村研究室）
情報社会構造研究室　（矢野客員研究室・
白鳥客員研究室）
寄附研究部門
環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門　（足立研究室）
附属研究施設
ナノ・スピン実験施設
ナノヘテロプロセス研究室　（室田・櫻庭研究室）
半導体スピントロニクス研究室　（大野・大野･松倉研究室）
ナノ分子デバイス研究室　（庭野・木村研究室）
ナノスピンメモリ研究室　（池田研究室）
ブレインウェア実験施設
実世界コンピューティング研究室　（中島研究室（兼））
知的ナノ集積システム研究室　（中島・佐藤研究室）
マイクロアーキテクチャ研究室　（桝井研究室）
新概念VLSIシステム研究室　（羽生研究室）
21世紀情報通信研究開発センター
企画開発部
研究開発部
モバイル分野（坪内・高木客員技術開発室）
ストレージ分野（藤本･青井客員・島津技術開発室）
知能アーカイブ分野　（客員）
安全衛生管理室
共通研究施設
やわらかい情報システム研究センター
研究基盤技術センター
工作部
評価部
プロセス部
ソフトウェア技術部
事務部
庶務係
研究協力係
図書係
経理係
用度係

２．２　運営協議会委員名簿

運営協議会は、東北大学電気通信研究所長の諮問に応じ、共同利用・共同研究拠点としての活動に関する重要事項、その他研究所長が必要と認める事項について協議する組織である。

秋葉　重幸（委　員）株式会社ＫＤＤＩ研究所　代表取締役所長
荒川　泰彦（　〃　）東京大学　生産技術研究所　教授
一村　信吾（　〃　）独立行政法人　産業技術総合研究所　理事
上田　修功（　〃　）日本電信電話株式会社　コミュニケーション科学基礎研究所長
潮田　資勝（　〃　）独立行政法人　物質・材料研究機構　理事長
江村　克己（　〃　）日本電気株式会社　執行役員　兼　中央研究所長
太田　賢司（委員長）シャープ株式会社　取締役　専務執行役員　東京支社長
久間　和生（委　員）三菱電機株式会社　専務執行役　半導体・デバイス事業本部長
久保田啓一（　〃　）日本放送協会　放送技術研究所長
坂内　正夫（　〃　）大学共同利用機関法人　情報・システム研究機構
理事・国立情報学研究所長
富田　眞治（　〃　）京都大学　物質-細胞統合システム拠点　特定拠点教授
富永　昌彦（　〃　）独立行政法人　情報通信研究機構　理事
西尾章治郎（　〃　）国立大学法人大阪大学　理事・副学長
丹羽　邦彦（　〃　）独立行政法人科学技術振興機構　研究開発戦略センター
上席フェロー
吉田　　博（　〃　）大阪大学　大学院基礎工学研究科　教授
花輪　公雄（　〃　）東北大学　大学院理学研究科長
内山　　勝（　〃　）東北大学　大学院工学研究科長
亀山　充隆（　〃　）東北大学　大学院情報科学研究科長
新家　光雄（　〃　）東北大学　金属材料研究所長
河村　純一（　〃　）東北大学　多元物質科学研究所長
小林　広明（　〃　）東北大学　サイバーサイエンスセンター長
澤谷　邦男（　〃　）東北大学　大学院工学研究科 教授

２．３　共同研究組織

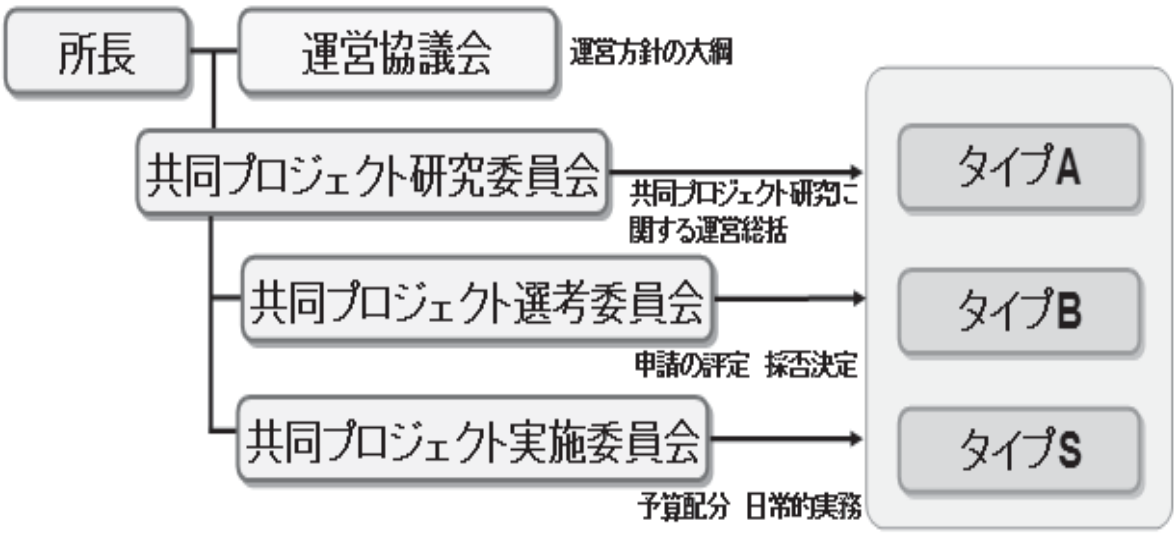
本研究所は平成６年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成 16 年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設」の 2 施設として設備を充実し発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共にそれぞれの先導的研究開発を目指すことになった。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により、情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として、本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて、全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携を撮りながら、本研究所を中核とする総合的な共同プロジェクト研究を行っている。

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるためにユーザーの要望など所内外から広くご意見を戴き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同利用委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部研究協力係」より全国の国公私立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、平成１９年度に外部委員を含めたプロジェクト審査委員会を設置した。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「プロジェクト実施委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

運営協議会は、本研究所の「共同プロジェクト研究」に関する運営の大綱について所長の諮問に応じて審議する。

平成22年度以降の体制



2．4　教育組織

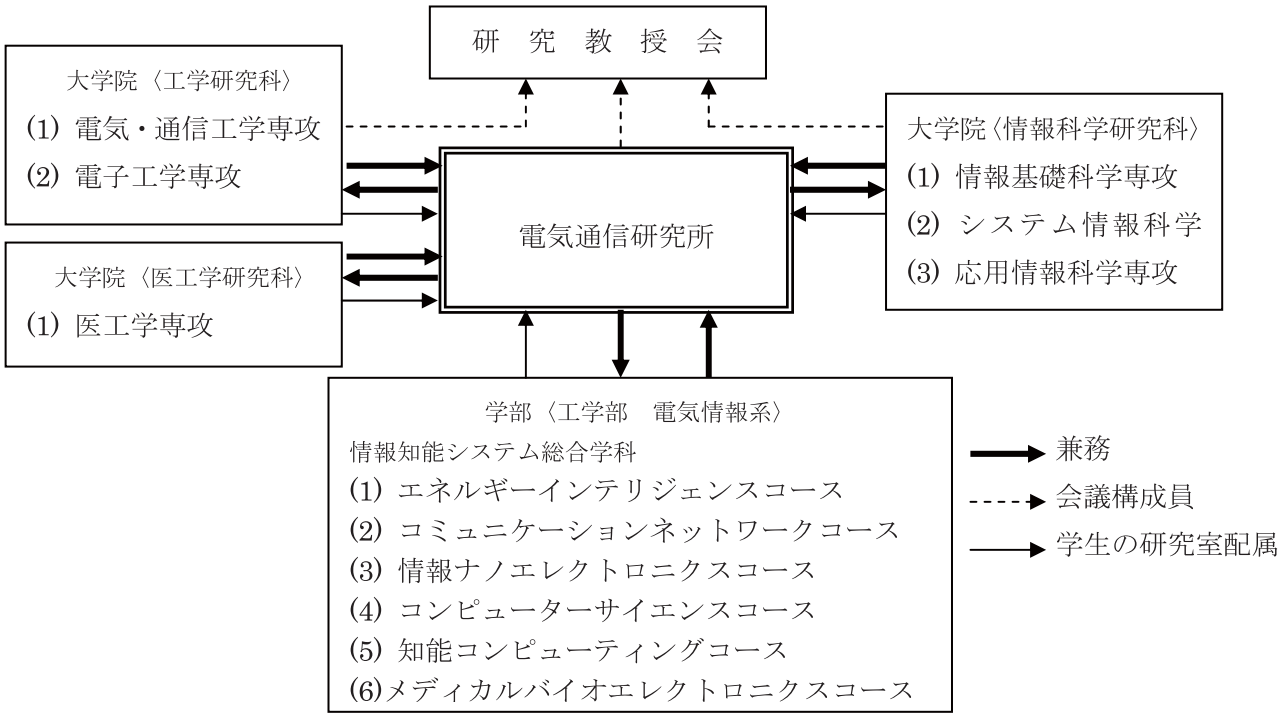
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学科が順次設立されるとともに、これらの電気・情報系 4 学科との「一体運営」の協力関係が維持構築された。

現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004 年、電気・情報系 4 学科は応用物理学科と合同の大学科，電気情報・物理工学科となった。2007 年には情報知能システム総合学科と改称し，そのなかの 6 コースが電気・情報系と位置づけられている。また、大学院重点化に伴い、通研教員と大学院の関係は兼担から兼務へ変わっている。2010 年度は、通研の 27 研究室・分野のうち 9 研究部・分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、11 研究部・分野が電子工学専攻に、2 分野が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4 分野がシステム情報科学専攻に、1 研究部が応用情報科学専攻に、3 研究部・分野が医工学研究科医工学専攻に、それぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は 187 名、一研究室当たり平均 7.1 名に達している。

通研と電気・情報系学科の関係で特徴的な点は、全教員が兼務として互いに協力し合っていることである。通研の教授・准教授は全員、学部学生に対する講義を担当し、助教は実験を指導して教育に協力している。一方、電気・情報系の教員も通研兼務であり、学部学生も通研の各研究室に配属されている。これにより学生にとっても研究室選択の幅が広がり、世界最先端の研究指導が受けられるようになっている。一方、通研にとっても若い行動力は重要であり、研究活動が活性化される。通研が電気通信の分野で多くの成果をあげてきた理由には、このような教育面での協力関係に因るところが大きい。

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。

通研は工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり、研究のみならず教育でも COE としての重要な一翼を担っている。



第 3 章　　研究活動

３．１　情報デバイス研究部門の目標と成果

本部門は「物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成」という大きな目標の下に，材料設計，評価，プロセス，デバイス，システムにわたる研究を実施している．この部門で展開している研究は本研究所の設置目的達成のための重要な基礎となるもので，次世代情報処理通信工学の基盤となる未開拓の新機能情報デバイスの実現を図ることを目的としている．そのために、次世代情報処理機能デバイス実現の基盤となる，ナノスケール光電変換機能，量子スピン機能制御などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に，これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス，再構成可能論理デバイス，誘電情報デバイス，電子・光相関効果電子デバイス，量子効果デバイスなどを実現することを目標とする．

目標に到達するために，下記の６研究室を設置し，さらにナノ・スピン実験施設の１研究室であるナノヘテロプロセス研究室と有機的連携を保ちつつ研究を行っている．

1. ナノフォトエレクトロニクス研究室
2. 量子光情報工学研究室
3. 固体電子工学研究室
4. 誘電ナノデバイス研究室
5. 物性機能設計研究室
6. 磁性デバイス研究室 (客員研究室)

各分野の目標ならびに2010年度の研究活動の成果の概要を，次ページ以降に記述する．なおナノヘテロプロセス研究室の目標・成果については，後述のナノ・スピン実験施設の節で述べる．

ナノフォトエレクトロニクス研究室

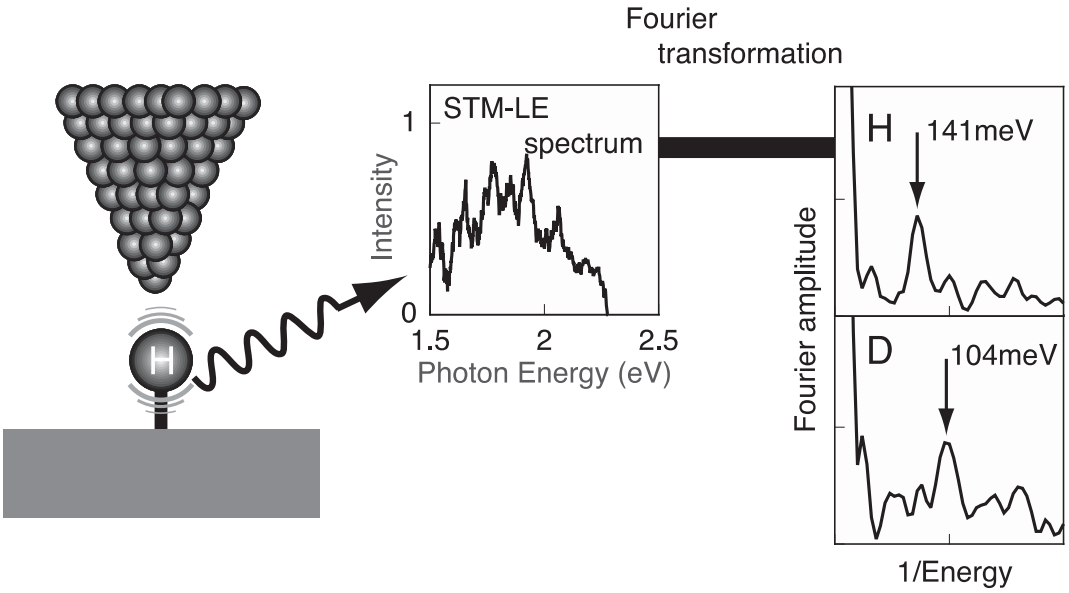


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

ナノフォトエレクトロニクス研究分野　教授　上原洋一

＜研究室の目標＞

本分野の研究目標はナノメートル領域における新規な物理・化学現象の探索とナノフォトエレクトロニック・デバイスへの応用にある。光と電子の作用場としてのナノ構造に着目し、そこで生起する新規な光・電子物性を探索発見し、次世代ナノ量子デバイスへ応用展開を目指す。走査プローブ顕微鏡を用いた局所分光（走査トンネル顕微鏡 (STM) 発光分光、走査トンネル分光、探針増強ラマン分光, 原子間力顕微鏡など）、レーザー分光、光電子分光などの測定手法と分子吸着や蒸着、レーザーアブレーションなどの孤立ナノ構造作製手法を組み合わせ、個々の分子や孤立ナノ構造の有する物性を研究している。また、新規な物性探索のための新しい計測手法の開発も分野の研究目標に含まれる。図１は本分野で開発したSTM発光分光による個々の表面吸着種の振動分光の概略図である。

＜2010 年度の主な成果＞

本分野のロード・マップに記されているように、2010年度における本分野の研究テーマは「ナノ構造の物性・機能探索」と「ナノ構造計測手法の開発」に集約される。これらに関し、次のような進展・成果があった。

１．ナノ構造の物性・機能探索

物性探索：Cu(110)上に吸着した単分子ベンゼンのSTM発光スペクトル中に分子振動により誘

起される構造が出現する機構を明らかにした。昨年度、基板のフォノン・エネルギーが基板上に置かれた銀微粒子のSTM発光スペクトルから決定できることを発見した。この現象はベンゼン-Cu(110)系とは異なる機構で説明された。Au基板上に形成されたアルカン・チオール・自己組織化単分子膜のSTM発光スペクトルは膜自体や金の誘電特性からは期待されない強いレッド・シフトを示す。このシフトはAuとアルカン・チオール単分子膜の界面に誘起される電子遷移の誘電応答によることを発見した。

機能探索：表面ポラリトンは平滑界面上では非発光性であるが、ナノ構造中では発光性となる。表面フォノン・ポラリトンの発光特性をTHzのスペクトル領域で理論的に研究した。その結果、ナノ構造のサイズと形状を最適化することにより強い放射が期待できることを発見した。この発見を原子位置分解能テラヘルツ分光や光源開発の研究に展開する。

２．ナノ構造計測手法の開発

フォノンは電子デバイス中で大きな役割を果たしている。さらに、フォノン物性はサイズ効果を示すことが知られている。従って、高集積電子デバイス開発においては、個々のナノサイズの材料のフォノン物性計測が重要となる。本分野では個々のナノ構造のフォノン物性（エネルギーや寿命時間等）の決定を可能にする新しい計測手法の開発を行っている。

＜職員名＞

教　授　上原　洋一（2005 年より）
助　教　片野　諭（2006 年より）

＜教授のプロフィール＞

1979 年３月　大阪府立大学工学部電子工学科卒業、1986 年３月　同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了（工学博士）。1986 年４月　東北大学電気通信研究所助手。1992 年４月　同助教授。2005 年６月　同教授、現在に至る。電子ならびに光学的分光手法による表面ナノ物性の研究に従事。レーザー学会論文賞（1986 年）、日本学術振興会 167 委員会・ナノプローブテクノロジー賞（2006 年）。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Katano, S. Ushioda, and Y. Uehara, “Vibrational Excitation of a Single Benzene Molecule Adsorbed on Cu(110) Studied by Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectroscopy,” J. Phys. Chem. Lett. **1**, 2763-2768 (2010).
[2] S. Katano, K. Toma, M. Toma, K. Tamada, and Y. Uehara, “Nanoscale coupling of photons to vibrational excitation of Ag nanoparticle 2D array studied by scanning tunneling microscope light emission spectroscopy,” Phys. Chem. Chem Phys. **12**, 14749-14753 (2010).
[3] W. Iida, S. Katano, and Y. Uehara, “Finite-Difference Time-Domain Analysis of Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectra,” Jpn. J. Appl. Phys., **49**, 095202 (2010).
[4] J. U. Ahamed, T. Sanbongi, S. Katano, and Y. Uehara, “Prism-Coupled Scanning Tunneling Microscope Light Emission Spectroscopy of Au Film Covered with Self-Assembled Alkanethiol Monolayer,” Jpn. J. Appl. Phys., **49**, 08LB09 (2010).
[5] S. Ueda, Y. Iwasaki, Y. Uehara, and S. Ushioda, “Changes of interlayer exchange coupling in Fe/Si/Fe trilayer structure by photo-irradiation”, Phys. Rev. **B83**, 144424 (2011).
[6] 上原洋一、片野諭　特許出願「走査トンネル顕微鏡発光分光を用いた局所振動分光の方法」特願２０１０－１９３８６６（平成 22 年８月 31 日）.

量子光情報工学研究室

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

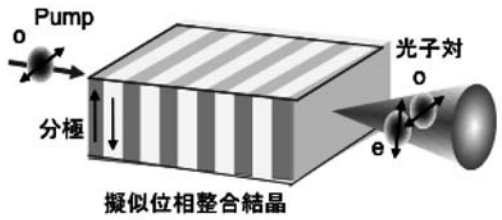


図１．擬似位相整合，拡張位相整合を用いた量子もつれ光子発生

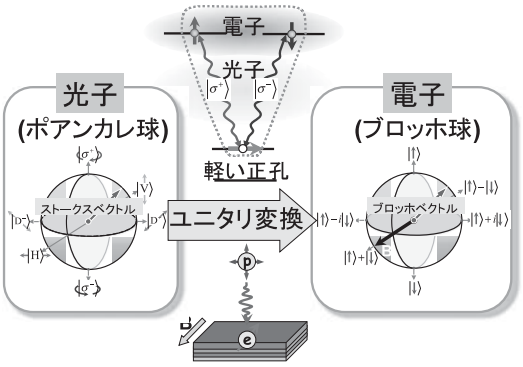


図２．光子の偏光→電子スピンへの量子メディア変換

量子光情報工学研究分野　教　授　枝松 圭一
量子物性工学研究分野　　准教授　小坂 英男

＜研究室の目標＞

現在の情報処理・通信技術は，信号を電圧や周波数などの古典的でマクロな物理量に対応させて様々な処理を行っているが，近い将来，情報の高密度化と高速化に限界が訪れることが指摘されている。これに対し，個々の電子や光子などのミクロな量に情報を保持させ，量子力学の原理を直接応用することによって，従来の限界を打ち破る性能を持ちうる量子情報通信技術の実用化が強く期待されている。本研究分野は，電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し，未来の量子情報通信の中核となるべき極限技術の開発に積極的に挑戦する。

＜2010 年度の主な成果＞

(1) 新材料を用いた量子もつれ光子対の発生・検出方法の開発

量子相関をもった光子対の発生とその利用技術は，量子情報通信技術の最も重要な要素の一つである。本研究室では，半導体や擬似位相整合非線形光学結晶を用いた量子もつれ光子の発生・検出方法について研究している。本年度は，(1)高効率擬似位相整合アップコンバージョン検出を用いた量子干渉の検証，(2)拡張位相整合を用いた量子もつれ光子および伝令付単一光子源の開発と応用，(3) 4 光子間束縛量子もつれ状態の生成とその量子もつれ回復の実証，(4) Si 細線マイクロ共振器を用いた高効率光子対発生，等の成果を得た。

(2) 光子から電子スピンへの量子メディア変換技術の開発

量子情報通信技術の発展には、量子メディア（量子ビット）間のインターフェース技術が重要となる。本年度は，量子情報通信に欠かせない光子と量子情報処理に欠かせない半導体中の電子

スピンの間で量子状態が転写し得ることを実験的に示し，超伝導量子・核スピン・イオンなどの量子メディアを相互に光接続する量子メディア変換の可能性を提示した。特に，伝送路の揺らぎ耐性の高い伝送方式との整合性を考慮した量子メディア変換の手法を新たに開発，実証した。

⑶ 半導体量子ドット，量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し，半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究している。半導体量子構造におけるスピン状態の高感度な測定手法の開発はスピントロニクスや量子情報通信分野で重要である。本年度は，ヘテロダイン検波を用いた超高感度カー回転分光法を開発し，単一の半導体量子ドット中の励起子による光誘起カー効果の測定に成功した。

＜職員名＞

教授　　枝松圭一（2003 年より）
准教授　小坂英男（2003 年より）
助教　　三森康義（2004 年より）
研究員　清水亮介（~2010.9），久津輪武史（~2010.9），白昭榮（~2011.3）
秘書　　濱田美香（~2010.8），佐藤愛（2010.9~2010.11），大平ひとみ（2010.12~2011.3）

＜プロフィール＞

枝松圭一　1987 年東北大学大学院理学研究科博士課程修了，東北大学工学部助手，California Institute of Technology 客員研究員，東北大学大学院工学研究科助教授，大阪大学大学院基礎工学研究科助教授，2003 年 1 月より現職

小坂英男　1989 年京都大学大学院理学研究科修士課程修了，NEC 光エレクトロニクス研究所・基礎研究所主任研究員，京都大学大学院工学研究科論文博士取得，University of California Los Angeles 客員研究員，2003 年 7 月より現職。国立情報学研究所客員准教授兼務

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] A. Syouji, S. Nagano, R. Shimizu, K. Suizu, and K. Edamatsu, “Efficient up-conversion detection of 1550nm photons using bulk periodically-poled $LiNbO_3$,” Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 040213/1-3 (2010)

[2] T. Kutsuwa, M. Kuwahara, K. Ono, H. Kosaka, “Single-electron spin resonance in a g-factor-controlled semiconductor quantum dot,” Physica E **42**, 821-824 (2010)

[3] T. Inagaki, H. Kosaka, Y. Rikitake, H. Imamura, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, “Optical measurement of electron spin coherence in a semiconductor quantum well,” Physica E **42**, 922-925 (2010)

[4] T. Inagaki, H. Kosaka, Y. Rikitake, H. Imamura, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, “Measurement of electron spin states in a semiconductor quantum well using tomographic Kerr rotation,” Jpn. J. Appl. Phys. **49**, Issue 2, 04DJ09/1-3 (2010)

[5] M. Kuwahara, T. Kutsuwa, K. Ono, H. Kosaka, “Single charge detection of an electron created by a photon in a g-factor engineered quantum dot,” Appl. Phys. Lett. **96**, 163107/1-3 (2010)

[6] N. Yokoshi, H Imamura, H. Kosaka, “Proposal of a full Bell state analyzer for spin qubits in a double quantum dot,” Phys. Rev. B **81**, 161305(R)/1-4 (2010)

[7] K. Edamatsu, R. Shimizu, W. Ueno, R.-B. Jin, F. Kaneda, M. Yabuno, H. Suzuki, S. Nagano, A. Syouji, and K. Suizu, “Photon pair sources with controlled frequency correlation,” Progress in Informatics **8**, 19-26 (2010)

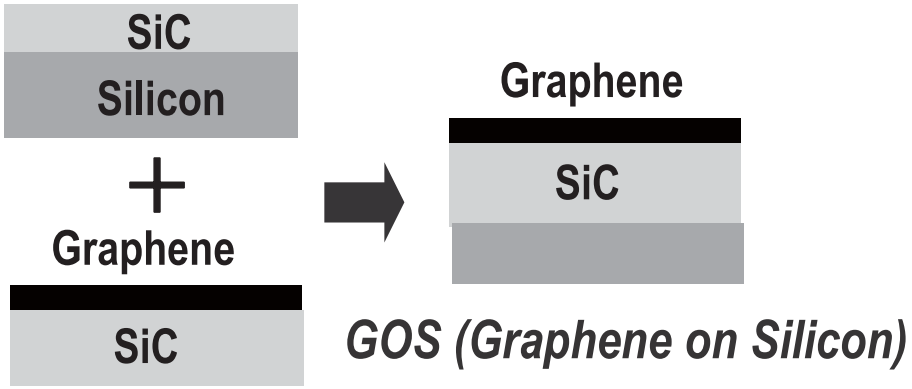
[8] F. Kaneda, R. Shimizu, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, “Generation and characterization of bound entanglement in optical qubits,” Progress in Informatics **8**, 27-31 (2010)

[9] H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, T. Kutsuwa, M. Kuwahara, K. Ono, Y. Rikitake, N. Yokoshi, H. Imamura, “Coherent spin preparation, manipulation and read-out with light and microwaves in a quantum well and dot”, *J. Phys.* **245**, 012001 (2010)

[10] R.-B. Jin, J. Zhang, R. Shimizu, N. Matsuda, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, “High-visibility nonclassical interference between intrinsically pure heralded single photons and photons from a weak coherent field,” Phys. Rev. A **83**, 031805(R)/1-4 (2011)

固体電子工学研究室

グラフェンをシリコン・テクノロジーに



固体電子工学研究分野　教　授　末光　眞希

＜研究室の目標＞

グラフェンは炭素原子の蜂の巣状二次元ネットワークである。シリコンの百倍という速さで電子が走る、まさに夢の材料と言える。固体電子工学研究室では、このグラフェンをシリコン基板の上に形成することに世界で初めて成功し、世界の注目を集めている。現在、このグラフェンを高周波トランジスタやガスセンサ、あるいは光デバイスに応用する研究を進めている。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　モノメチルシランを用いた Si 基板上 SiC エピタキシに関する成果

当該研究室では有機シランの一種であるモノメチルシラン（MMS）単一ソースによるガスソース分子線エピタキシ（GSMBE）法の研究を行っている。本年は MMS ガス分圧と基板温度の関数として成長速度を詳細に調べ、同成長系においては、熱的に活性化する高速成長が行われる低温領域と温度依存性のほとんどない低速エピ成長が行われる高温領域が存在することを見出した[9]。この知見は MMS による SiC 薄膜成長機構の理解を大いに進展させるものである。

２．　グラフェン・オン・シリコン技術に関する成果

当該研究室では、上記 1 の MMS-GSMBE 法を用いて Si 基板上に SiC 単結晶薄膜を成膜し、その表面 Si 原子を昇華で除去することにより Si 基板上にエピタキシャルグラフェンを形成することに世界に先駆けて成功している。本年度はこのグラフェン・オン・シリコン（GOS）技術において、使用する Si 基板の面方位を変化させることにより、グラフェン／SiC 界面構造の制御が可能であることを見出した（[1-5], [7-8]）。この知見は SiC バルク基板にない GOS 技術の特徴を明らかにしたもので、基板面方位によるグラフェン物性の制御につながるものである。

３．　グラフェン・オン・シリコンデバイス技術に関する成果

当該研究室では、エピタキシャルグラフェンを用いた電界効果トランジスタ（FET）の作製プロセスに関する研究を行っている。本年度は、ゲート絶縁体として高分子薄膜を用いることが可能であることを見出した（[6]）。この知見はグラフェン FET プロセスを大幅に簡便化させるものである。

４．　Si(110)表面微細構造制御に関する成果

Si(110)表面は、自然に存在する究極の三次元微細構造である。本年度は、通電加熱された Si(110)表面上に Si 者エピタキシを行うことにより、ステップ端の揃った、ステップバンチングが起こることを見出した（[10]）。これは自己組織的に Si 基板ナノ構造を作りこむ方法であり、多くの応用が期待される。

＜職員名＞

教　授　末光 眞希（2008 年より）

助　教　吹留 博一（2008 年より）

技術補佐員　三浦 明美

＜プロフィール＞

1975 年 3 月　東北大学工学部電子工学科卒業。1980 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。1980 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1990 年 4 月　同大電気通信研究所助教授。2003 年４月　同大学際科学国際高等研究センター教授、2008 年 4 月同大電気通信研究所教授、現在に至る。半導体薄膜表面工学の研究開発に従事。第 30 回熊谷記念真空科学論文賞受賞（2005 年 11 月）。総長教育賞受賞（2010 年 3 月）。2009 年度 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Paper of the Year 賞受賞。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] M Suemitsu and H Fukidome, “Epitaxial graphene on silicon substrates, ” J.Phys. D: Appl. Phys. 43, p.374012(11pp), 2010

[2] 半田浩之、宮本優、齋藤英司、吹留博一、末光眞希 “Si(111),(110),(100)基板上 3C-SiC1 薄膜の熱改質によるグラフェン・オン・シリコン形成”、表面科学、Vol.31, pp.352-358、2010

[3] M.Suemitsu and H.Fukidome, “Growth of Graphene on Silicon Substraes and Its Control over Interfacee Properties,” 2010 Villa Conference on Interaction Among Nanostructures, p. 29, 2010

[4] Shunsuke Abe, Hiroyuki Handa, Ryota Takahashi, Kei Imaizumi, Hirokazu Fukidome and Maki Suemitsu , “Surface Chemistry Involved in Epitaxy of Graphene on 3C-SiC(111)/Si(111),” Nanoscale Res Lett. Vol.5, No.12, pp.1888-1891, 2010

[5] Maki Suemitsu, “Orientation-mediated control of interfacial structure in epitaxial graphene on silicon substrates ," the Second International Symposium on the Science and Technology of Epitaxial Graphene (STEG 2) , p.23, 2010

[6] Myung-Ho Jung, Hiroyuki Handa, Ryota Takahashi, Hirokazu Fukidome and Maki Suemitsu, “Epitaxial Graphene Field Effect Transistors on SiC substrate with Polymer Gate Dielectric,” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.589-590, 2010

[7] H. Handa, R. Takahashi, S. Abe, K. Imaizumi, M.H. Jung, S. Ito, H. Fukidome and M. Suemitsu, “TEM characterization of epitaxial graphene formed on Si(111), Si(110), Si(100),” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.125-126, 2010

[8] Maki Suemitsu, Hiroyuki Handa, Eiji Saito and Hirokazu Fukidome, “Epitaxial Formation of Graphene on Si Substrates: From Heteroepitaxy of 3C-SiC to Si Sublimation,” ECS Trans. Vol. 33, Issue6, pp.859-867, 2010

[9] Eiji Saito, Sergey N. Filimonov, and Maki Suemitsu, “Growth Rate Anomaly in Ultralow-Pressure Chemical Vapor Deposition of 3C-SiC on Si(001) Using Monomethylsilane,” Jpa. J. Appl. Phys., Vol.50, No. 1, pp.010203-1-3 2011

[10] Arnold Alguno, Sergey N. Filimonov and Maki Suemitsu, “Step bunching and step “rotation” in homoepitaxial growth of Si on Si(110)-16×2,” Surface Science Vol.605, issue 7-8, pp.838-843, 2011

誘電ナノデバイス研究室

強誘電体，圧電体材料などの評価・開発とそれを用いた高機能信号処理及び超高密度記憶素子の研究

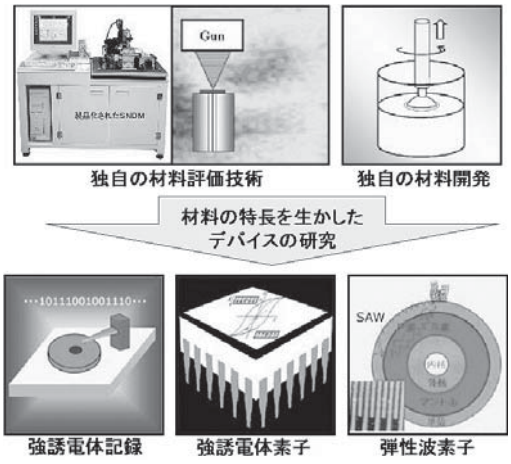


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

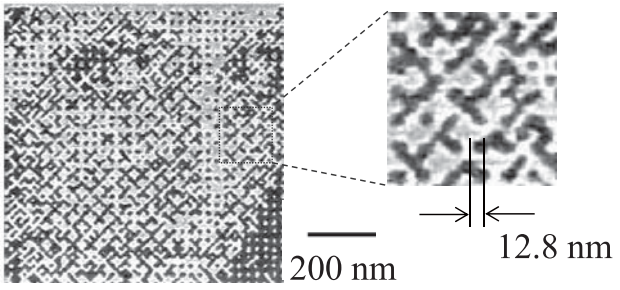


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch^2 の密度で記録されたディジタル情報

誘電ナノデバイス研究分野　教　授　長 康雄

＜研究室の目標＞

本研究室では，強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価･作製する独自技術の開発と，それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用誘電・圧電デバイス・誘電体記録デバイスの研究を行っている。具体的には，超音波や光及び Fe-RAM 等に多用されている強誘電体単結晶や薄膜の分極分布や，様々な結晶の局所的異方性を高速かつ高分解能に観測できる非線形誘電率顕微鏡(SNDM)の研究・開発を行っている。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価を純電気的に行える世界で初めての装置であり，既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイルの観測や固体中の単一双極子モーメントの可視化など SNDM の高機能・高分解能化を目指した研究を行っている。更に SNDM は強誘電体ドメインをナノレベルで観測・制御できるため，次世代超高密度誘電体記録への応用研究も推進している。

＜2010 年度の主な成果＞

１．NC-SNDM による原子レベル極性判別

非接触 SNDM（NC-SNDM）法を用いて超高真空下における半導体表面等の原子分解能観察を行い、特に Si(111) 表面のドメイン境界における電気双極子分布の可視化に関して成果が得られた。また，NC-SNDM による表面吸着元素の同定に関する研究にも着手した。

２．超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

テラビット級の記録再生が可能な次世代記録方式として期待される強誘電体記録の研究開発に関して、試作した HDD 型強誘電体記録再生試験装置を用いたシングルトラック記録・再生のデモンストレーションを行った。また，記録・再生ヘッドとなる探針先端の微細加工技術に関する研究にも着手した。

３． SNDM の生体分子計測への応用

SNDM 用プローブとして用いられてきた集中定数回路型 LC マイクロ波共振器を利用した新規非標識バイオアフィニティーセンサーを試作し，抗原抗体反応をモニターすることでその性能評価を行い，その有用性を示した。

＜職員名＞

教　授　長　　康 雄（２００１年より）
助　教　平永　良臣　　助　教　山末　耕平
技術職員　我妻　康夫　非常勤研究員　岡崎　紀明

＜教授のプロフィール＞

1980 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1986 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1985 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1990 年 3 月　山口大学工学部助教授。1997 10 月　東北大学電気通信研究所助教授 2001 年 7 月　同教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡及び超高密度強誘電体記録の研究開発に従事。市村学術賞功績賞受賞（2004 年）、藤尾フロンティア賞受賞（2005 年）、ドコモ・モバイル・サイエンス賞（2006 年）、ISIF^2 2009 OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD 受賞（2009 年）。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] Shin-ichiro Kobayashi and Yasuo Cho, “Investigation of interface between fullerene molecule and Si(111)-7×7 surface by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 28, No. 3, pp. C4D18-C4D23, 2010.

[2] Nobuhiro Kin and Yasuo Cho, “Imaging of the surface structure of TiO_2(110) by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, J. Appl. Phys., Vol. 107, No.10, pp.104121-1-4, 2010.

[3] Nobuhiro Kin and Yasuo Cho, “Noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy imaging of TiO_2(110) surfaces”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 28, No. 3, pp. C4D5-C4D10, 2010.

[4] Michio Kadota, Takashi Ogami, Kansho Yamamoto, and Yasuo Cho, “Acoustic Wave Devices Composed of Periodically Poled Z-Cut $LiTaO_3$ Plate Using Edge Reflection”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 49, No. 7, pp. 07HD22-1-3, 2010.

[5] Kenkou Tanaka and Yasuo Cho, “Actual information storage with a recording density of 4 Tbit/in.^{2} in a ferroelectric recording medium”, Appl. Phys. Lett., Vol.97, pp.092901-1-3, 2010.

[6] Kenkou Tanaka and Yasuo Cho, “Ferroelectric Data Recording Using Servo-Controlled Tracking Technique”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 9 , pp.09MA16-1-3, 2010.

[7] Shin-ichiro Kobayashi and Yasuo Cho, “Observation of electrochemical capacitance in a graphite surface by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy”, Phys. Rev. B, Vol. 82, pp.245427-1-19, 2010.

[8] Noriaki Okazaki, Taito Nishino, Toyohiro Chikyow, and Yasuo Cho, “Development of Label-Free Bioaffinity Sensor Using a Lumped-Constant Microwave Resonator Probe”, Appl. Phys. Express Vo. 4, pp.017001-1-3, 2011.

[9] Yasuo Cho, Kenkou Tanaka, and Yoshiomi Hiranaga, “Ferroelectric Super-High Density Data Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, The 3rd International Symposium on Innovations in Advanced Materials for Optics & Electronics, ABSTRACTS, pp. 41-44, 2010.

[10] Yasuo Cho, “Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2010 MRS Fall Meeting, ABSTRACTS, VV6.7, 2010.

物性機能設計研究室

次世代スピンデバイス創製のための物性・機能の理論設計

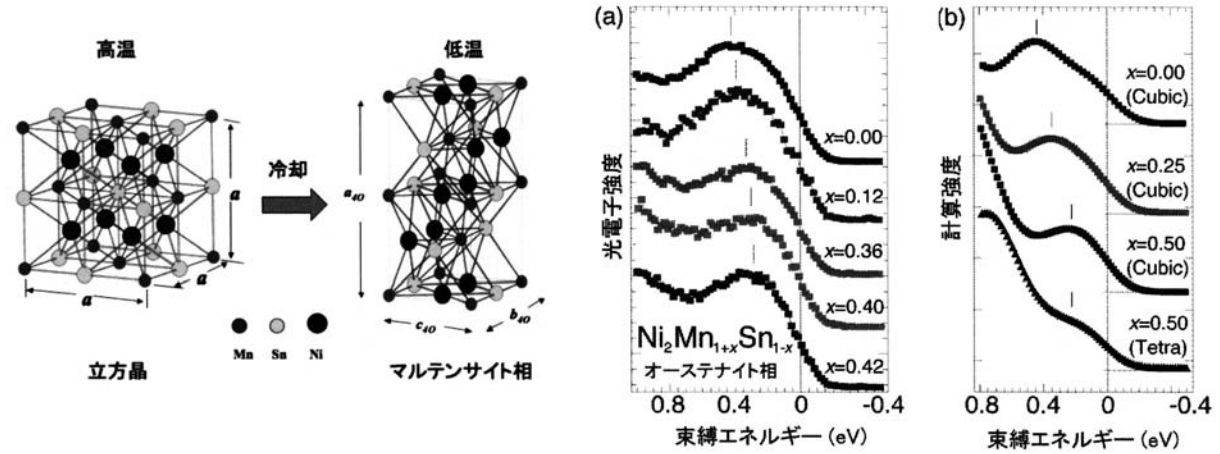


図１．強磁性形状記憶ホイスラー合金 $Ni_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$ の構造変態の模式図と光電子スペクトルの Mn 組成依存性：(a) 実験データ，(b) 理論計算.

物性機能設計研究分野　教　授　白井 正文

＜研究室の目標＞

本研究室では、次世代情報デバイスの基盤となる材料やナノ構造において発現する量子物理現象を理論的に解明し、デバイス性能の向上につながる新しい機能を有する材料やナノ構造を理論設計することを研究目標としている。同時に大規模シミュレーション技術を駆使した画期的な物性や機能の設計手法を確立することを目指している。

現在は、スピントロニクス研究の一環として、高スピン偏極材料を用いたデバイス構造におけるスピン依存電気伝導の理論解析を主たる研究テーマとしている。また、垂直磁気材料の磁気異方性とその電界制御に関する理論研究にも着手している。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　強磁性形状記憶ホイスラー合金の構造変態の微視的機構の解明

磁界により歪みを制御することができる強磁性形状記憶合金は，次世代アクチュエータへの応用が期待されている。そこでホイスラー合金 $Ni_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$ の構造変態の機構を明らかにするために，高輝度放射光を利用した硬 X 線光電子分光と第一原理計算を組合せて電子構造を詳細に研究した。その結果，光電子分光で観測されたピーク構造が，Mn 組成の増加に伴ってフェルミ準位 に近づき，そのピーク強度は構造変態温度より低温で著しく減少することを見出した。第一原理計算の結果は，これらの実験結果をよく再現し，Mn 組成の増加に伴って高温相の立方晶構造が，エネルギー的に不安定になることを示した。縮退した Ni 3d e_g 軌道のエネルギー分裂に起因した Jahn-Teller 機構により，この合金の構造変態が引き起こされていることを解明した[2]。

２． 新規垂直磁気材料を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論評価

不揮発性スピンメモリの高集積化を実現するためには，磁気トンネル接合の微細化に伴う磁化の熱揺らぎ耐性の向上が重要な課題である。この問題を解決する一つの方策として，垂直磁気異方性を示す規則合金 Mn_3Ga を電極に用いたトンネル磁気抵抗素子の性能を，第一原理計算に基づいて理論的に評価した。Mn_3Ga の電子構造を計算すると，MgO 障壁を優先的にトンネルする Δ_1 バンドが，多数スピンだけでなく少数スピンに対してもフェルミ準位を横切っている。一見すると $Mn_3Ga/MgO/Mn_3Ga$ 接合では大きなトンネル磁気抵抗効果が得られないように考えられるが，実際に平行磁化配置における電気伝導を計算すると，多数スピン電子のトンネル透過率は，少数スピン電子よりも 2 桁程度大きな値を示した。この顕著なスピン依存伝導の起源は，Δ_1 バンドの主要成分が，多数スピンでは Ga 4*pz* 軌道であるのに対して，少数スピンでは局在性の強い Mn $3dz^2$ 軌道であることを明らかにした[5]。

＜職員名＞

教　授　白井 正文（2002 年より）
助　教　阿部 和多加、三浦 良雄

＜プロフィール＞

1984 年 3 月　大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業。1988 年 3 月　同大学院基礎工学研究科物理系専攻博士後期課程中退。1988 年 4 月　同大基礎工学部技官（教育職）。1988 年 11 月　同助手。1996 年 4 月　同助教授。2002 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。工学博士。酸化物超伝導体の電子格子相互作用、遷移金属化合物の遍歴電子磁性、第一原理計算に基づく機能物質設計に関する理論研究に従事。第 8 回井上研究奨励賞受賞（1992 年）。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Saito, T. Katayama, T. Ishikawa, M. Yamamoto, D. Asakura, T. Koide, Y. Miura, and M. Shirai, “Interface structure of half-metallic Heusler alloy Co_2MnSi thin films facing an MgO tunnel barrier determined by x-ray magnetic circular dichroism,” Phys. Rev. B, Vol. 81, No. 14, Article no. 144417, pp.1-6, 2010.

[2] M. Ye, A. Kimura, Y. Miura, M. Shirai, Y. Cui, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, S. Ueda, K. Kobayashi, R. Kainuma, T. Shishido, K. Fukushima, and T. Kanomata “Role of electronic structure on martensitic phase transition of $Ni_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$ studied by hard-x-ray photoelectron sprctroscopy and *ab initio* calculation,” Phys. Rev. Lett., Vol. 104, No. 17, Article no. 176401, pp. 1-4, 2010.

[3] Y. Sakuraba, K. Izumi, T. Iwase, S. Bosu, K. Saito, K. Takanashi, Y. Miura, K. Futatsukawa, K. Abe, and M. Shirai, “Mechanism of large magnetoresistance in $Co_2MnSi/Ag/Co_2MnSi$ devices with current perpendicular to the plane,” Phys. Rev. B, Vol. 82, No. 9, Article no. 094444, pp. 1-5, 2010.

[4] T. Kanomata, Y. Chieda, K. Endo, H. Okada, M. Nagasako, K. Kobayashi, R. Kainuma, R. Y. Umetsu, H. Takahashi, Y. Furutani, H. Nishihara, K. Abe, Y. Miura, and M. Shirai, “Magnetic properties of the half-metallic Heusler alloys Co_2VAl and Co_2VGa under pressure,” Phys. Rev. B, Vol. 82, No. 14, Article no. 144415, pp. 1-7, 2010.

[5] T. Kubota, Y. Miura, D. Watanabe, S. Mizukami, F. Wu, H. Naganuma, X. Zhang, M. Oogane, M. Shirai, Y. Ando, and T. Miyazaki, “Magnetoresistance effect in tunnel junctions with perpendicularly magnetized $D0_{22}$-$Mn_{3-\delta}Ga$ electrode and MgO barrier,” Appl. Phys. Express, Vol. 4, No. 4, Article no. 043002, pp. 1-3, 2011.

[6] M. Tsujikawa, S. Haraguchi, T. Oda, Y. Miura, and M. Shirai, “A comparative *ab initio* study on electric-field dependence of magnetic anisotropy in MgO/Fe/Pt and MgO/Fe/Au films,” J. Appl. Phys., Vol. 109, No. 7, Article no. 07C107, pp. 1-3, 2011.

[7] M. Shirai, “Computational design of half-metallic ferromagnets: The status quo and outlook,” International Conference on Core Research and Engineering Science of Advanced Materials, Osaka, Japan, June 3, 2010.

[8] 白井正文, “スピン流の創出のための材料設計,” まてりあ, Vol. 49, No. 12, pp. 562-565, 2010.

3．2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

将来の大容量情報通信に柔軟に対応する電子デバイスと高速通信技術の未来システムの構築を目的に、マイクロ波、ミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、光波の広範な領域での各種情報信号の発生、伝送、処理、情報ストレージ、半導体スピントロニクス技術の研究開発を行っている。

(1)先端ワイヤレス通信技術研究室

(目標)高度情報ネットワークの実現を目指して，先端ワイヤレス通信技術(Advanced Wireless IT)に関する研究を，信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで，一貫して研究・開発を行っている。

(成果)モバイルワイヤレス通信の高速化・広域化を目指したシングルキャリア／マルチキャリアハイブリット通信技術の検討を行った。伝搬路・デバイス特性補償技術である周波数領域等化を ASIC へ実装した。ミリ波帯 RF CMOS 増幅器など無線通信端末の高速化・小型化・低消費電力化のための先端ハードウェアを試作した。

(2)超ブロードバンド信号処理研究室

(目標)いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し，次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として，新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と，それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

(成果)シリコン基板にエピタキシャル成長した新材料グラフェン(末光眞希教授提供)をチャネル材料とする FET を要素とする相補型論理回路の試作検証に成功し、ポスト CMOS 技術としての見通しを明らかにした。光学励起グラフェンのテラヘルツ帯誘導増幅放射の実証を進め、理論計算から予測される利得周波数特性ならびにポンピング閾値特性の観測にはじめて成功した。

(3)超高速光通信研究室

(目標)光・量子エレクトロニクスならびに伝送工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルス発生・伝送技術、短パルスレーザ技術、ならびに光信号処理技術の研究を行い、グローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

(成果)超高速時間領域光フーリエ変換法を用いて単一偏波 DQPSK 方式により 1.28 Tbit/s/ch － 525 km の超高速長距離伝送に初めて成功した。コヒーレント QAM 伝送において、512 値への超多値化に世界で初めて成功し、4.1 GHz の光帯域で 54 Gbit/s の伝送速度を実現した。これにより 12 bit/s/Hz を上回る超高周波数利用効率の可能性を実証した。

(4)応用量子光学研究室

(目標)新世代光情報通信ネットワークの実現を目指した革新的な新機能半導体光デバイスの実現と、レーザ発振や線形・非線形光学応答の新しい制御・活用に基づく超小型・超広帯域コヒーレント光源の創出及び新領域への展開を目指している。

(成果)信号光注入により半導体レーザ光源を制御することで、応答帯域を飛躍的に拡大できることを実験および数値解析により明らかにした。また、テラヘルツ帯バイオセンサーの研究において、高品質な表面プラズモン共振器の作製し、表面プラズモン共鳴による THz 波の透過を確認した。

(5)情報ストレージシステム研究室

（目標）次世代型垂直磁気記録によるハードディスク装置の高記録密度化の実現と、高速・大容量のストレージサブシステムの研究を行っている。
（成果）現在の 10 倍の高面密度に相当する 5Tbit/inch^2（1 平方インチ当たり 5 兆ビット）を実現するための記録方式を検討し、昨年まで研究を続けてきたビットパターン型垂直媒体に加えて、20nm 以下の極めて狭い範囲の昇温によって可能になることを記録理論とコンピュータシミュレーションから明らかにした。また、ペタバイト級の省電力ストレージシステムについて、昨年までに達成した 50% の電力削減を維持しながら高速データ転送を実現するストレージ方式を検討中である。

(6)ブロードバンド通信基盤技術研究分野（水野客員研究室）

（目標）電磁波スペクトラムのうちミリ波・テラヘルツ波領域のイメージング計測を、セキュリティ分野の危険物検知また医用分野の生体計測等へ応用することを目標としている。
（成果）空港におけるセキュリティ・チェックへの応用を主目的に研究を続けてきた 77 GHz 帯パッシブイメージング装置について、その実用化のための研究・開発をスタートし、センサー及び画像処理法の向上によって、より高感度化を達成した。

(7)ブロードバンド通信基盤技術研究分野（犬竹客員研究室）

（目標）全天候型災害救助や防災監視に適した航空機搭載型の高分解能合成開口レーダ(SAR : Synthetic Aperture Radar)システムを開発することを目標としている。
（成果）今年度は、国土交通省の委託研究として、大規模自然災害時に威力を発揮するリアルタイム画像生成 SAR システムの、1)偏心パラボラアンテナ系の開発、2)マイクロ波送受信増幅回路の開発、3)高速スキャン可能な軽量ジンバルの開発を、他大学および企業の研究者・技術者との共同研究として進めた。

(8)ナノ・スピン実験施設　半導体スピントロニクス研究室

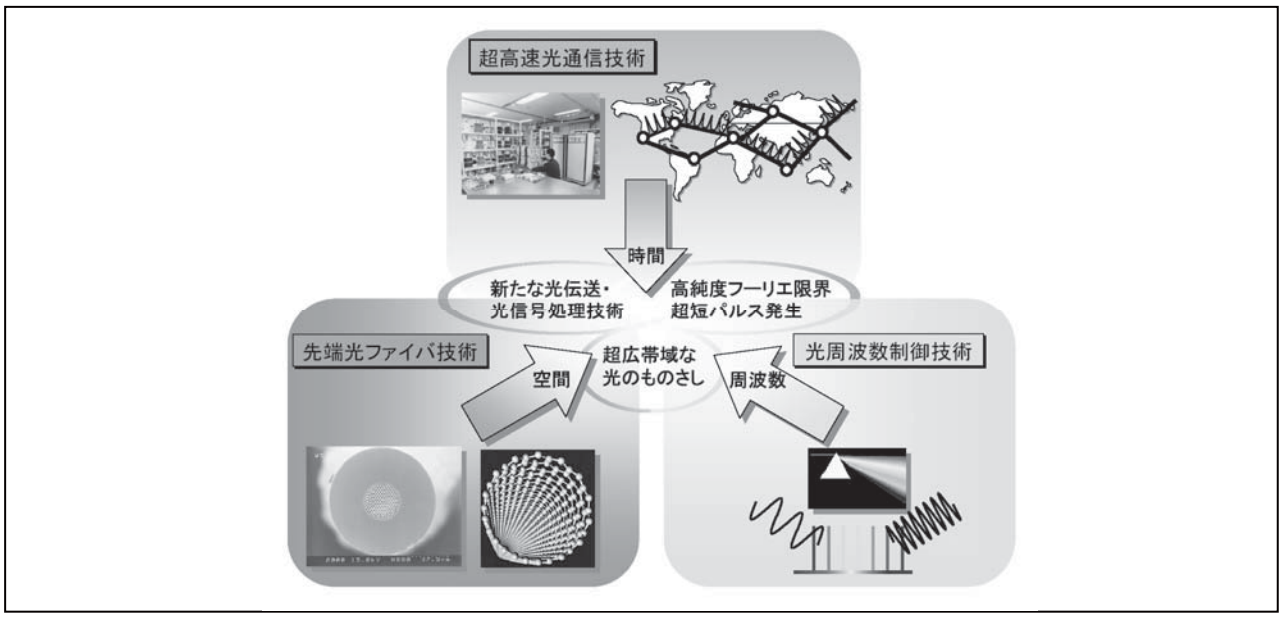
（目標） 新しいデバイスとシステムの実現を目指し、半導体内の電子状態を制御し工学的に応用するため極微細波動基盤技術に関して、特に、スピンと電荷の自由度を使った半導体スピントロニクス、今後の情報通信に必要な THz コヒーレント光源の研究を行っている。
(成果) 強磁性薄膜 CoFeB の MgO との界面磁気異方性に起因する垂直磁気異方性を見出し、その異方性の大きさが電界により制御可能であることを示した。また、強磁性半導体(Ga,Mn)As において電界印加によるナノドット・アンサンブルの形成に成功した。更に、非磁性半導体量子構造における核四重極相互作用の大きさとスピン位相緩和時間との関係を解明した。

(9)ナノ・スピン実験施設　ナノスピンメモリ研究部

(目標) 21 世紀の高度情報通信に求められる高機能・低消費電力のメモリ・デバイスとそれによって可能となる新しい論理集積回路および情報通信処理システムを、スピン・磁性を用いて実現することを目標としている。
(成果) Ta/CoFeB/MgO の積層構造において、CoFeB 膜厚の薄膜化により垂直磁気異方性が発現することを発見した。この積層構造を MTJ 構造に適用することにより、接合サイズ 40nm の MTJ で 350°C 熱処理後に TMR 比>100%、書込み電流 I_{c0}<50 μ A、熱安定性 E/k_BT ～40 が得られることを示した。これらの結果は、40nm 世代のスピン注入磁化反転書込み方式の MTJ を用いた不揮発性 VLSI の実現の可能性を示すものである。さらに、CoFe/Pd 多層膜系の耐熱性の知見を得た。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



光伝送研究分野　教　授　中沢　正隆
光信号処理研究分野　准教授　廣岡　俊彦

＜研究室の目標＞

インターネットや携帯で扱われる情報が多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスと伝送工学を駆使して、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、光信号処理技術の研究を行い、21 世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　超高速無歪み光伝送技術に関する研究

本研究分野では、超短光パルスを用いたテラビット級の超高速光伝送技術の研究開発に取り組んでいる。本年度は DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying)方式により 1 波長あたり 1.28 Tbit/s の伝送速度を単一偏波で実現し、超高速光フーリエ変換(OFT: Optical Fourier Trasnform)法により 525 km の長距離超高速伝送に初めて成功した。超短パルス用の超高速 OFT として、往復型の光位相変調器構成を新たに提案し、誤り率を約 1 桁改善した。本伝送系に偏波多重を適用することにより 2.56 Tbit/s/channel での長距離伝送の実現が期待される。

２．　コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究分野では周波数利用効率の向上を目指して、光の位相と振幅に同時に情報を乗せるコヒーレント QAM (Quadrature Amplitude Modulation)方式による光多値伝送技術に取り組んでいる。本年

度は 512 QAM への超多値化に世界で初めて成功し、54 Gbit/s の伝送速度を 4.1 GHz の光帯域で実現した。512 値への超多値化にあたり、中継用光増幅器として新たにラマン増幅器を導入し、さらに低非線形ファイバを伝送路として用いることにより、光 S/N を 4 dB 改善している。本伝送では 1 シンボルで 9 ビットの情報量を実現しており、12 bit/s/Hz を上回る周波数利用効率を実証した。

＜職員名＞

教　授　中沢 正隆（2001 年より）　准教授　廣岡 俊彦（2007 年より）
助　教　吉田 真人　　学振特別研究員　葛西 恵介　　秘　書　篠崎 頼子

＜プロフィール＞

中沢 正隆　1980 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。1984～1985 年 MIT 客員研究員。1999 年 NTT R&D フェロー。2001 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。IEEE Daniel E. Noble Award (2002 年)、OSA R. W. Wood Prize (2005 年)、Thomson Scientific Laureate (2006 年)、産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞(2009 年)、紫綬褒章(2010 年)、IEEE Quantum Electronics Award (2010 年)など受賞。IEEE、OSA、電子情報通信学会および応用物理学会フェロー。2008 年本学 Distinguished Professor、2010 年本研究所所長。

廣岡 俊彦　2000 年 3 月大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月コロラド大学博士研究員。2002 年 4 月東北大電気通信研究所助手。2007 年 10 月同准教授、現在に至る。超高速光通信、非線形ファイバ光学の研究開発に従事。電子情報通信学会学術奨励賞(2005 年)、光科学技術研究振興財団研究表彰(2010 年)、文部科学大臣表彰若手科学者賞(2010 年)など受賞。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Kasai, T. Omiya, P. Guan, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 400-Gb/s OTDM-32 RZ/QAM coherent transmission over 225 km using an optical phase-locked loop technique,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 8, pp. 562-564, April (2010).

[2] F. Shohda, M. Nakazawa, J. Mata, and J. Tsukamoto, “A 113 fs fiber laser operating at 1.56 μm using a cascadable film-type saturable absorber with P3HT-incorporated single-wall carbon nanotubes coated on polyamide,” Opt. Express, vol. 18, no. 9, pp. 9712-9721, April (2010).

[3] F. Shohda, Y. Hori, M. Nakazawa, J. Mata, and J. Tsukamoto, “131 fs, 33 MHz all-fiber soliton laser at 1.07 μm with a film-type SWNT saturable absorber coated on polyimide,” Opt. Express, vol. 18, no. 11, pp. 11223-11229, May (2010).

[4] 中沢正隆, “レーザーによる情報通信技術の発展,” 応用物理, vol. 79, no. 6, pp. 508-516, June (2010).

[5] T. Hirano, P. Guan, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “640-Gb/s/channel single-polarization DPSK transmission over 525 km with ultrafast time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 14, pp. 1042-1044, July (2010).

[6] T. Omiya, S. Okamoto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “60 Gbit/s 64 QAM-OFDM coherent optical transmission with a 5.3 GHz bandwidth,” IEICE Electron. Express, vol. 7, no. 15, pp. 1163-1168, August (2010).

[7] T. Morisaki, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Optical frequency-tunable Cs atomic clock with a 9.19GHz mode-hop-free fiber laser,” IEICE Electron. Express, vol. 7, no. 21, pp. 1652-1658, November (2010).

[8] P. Guan, H. C. Hansen Mulvad, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “High time-resolution 640-Gb/s clock recovery using time-domain optical Fourier transformation and narrowband optical filter,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 23, pp. 1735-1737, December (2010).

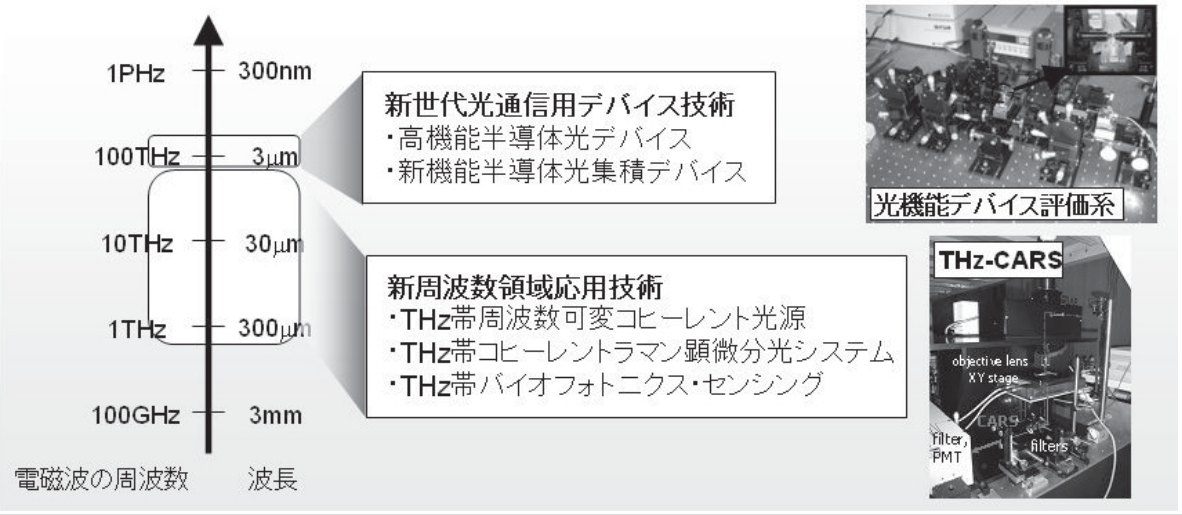
[9] M. Yoshida, S. Okamoto, T. Omiya, K. Kasai, and M. Nakazawa, “256 QAM digital coherent optical transmission using Raman amplifiers,” IEICE Trans. Comm., vol. E94-B, no. 2, pp. 417-424, February (2011).

[10] P. Guan, H. C. Hansen Mulvad, Y. Tomiyama, T. Hirano, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 1.28 Tbit/s-525 km DQPSK transmission using ultrafast time-domain optical Fourier transformation and nonlinear optical loop mirror,” IEICE Trans. Comm., vol. E94-B, no. 2, pp. 430-436, February (2011).

応用量子光学研究室

革新的光通信用高機能半導体光デバイスの創出と超広帯域コヒーレント光源の創出・応用に関する研究

光通信システムに用いられる赤外域からテラヘルツ領域の広い波長範囲をカバーする
光源と光機能デバイス、及びその応用分野の開拓



高機能フォトニクス研究分野　教　授　八坂　洋
広帯域フォトニクス研究分野　准教授　四方 潤一

＜研究室の目標＞

新原理に基づく高機能半導体光デバイス創出のため、高機能半導体光デバイス、及び新機能半導体光集積回路の研究を行い、光の強度、位相、周波数、偏波を自由に操ることのできる半導体光デバイス・光集積回路を実現することで、超大容量、超長距離光通信ネットワークの実現を目指している。また、超広帯域周波数可変コヒーレントテラヘルツ波光源システム、テラヘルツ帯コヒーレントラマン（THz-CARS, terahertz-coherent anti-stokes Raman spectroscopy）顕微分光システムを用いたテラヘルツ帯バイオフォトニクスの研究を進め、局所電場増強効果等を用いた新しいバイオ機能センシング手法の開発や、超高解像度のテラヘルツイメージング等への展開を目指している。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　高機能半導体光デバイス

超高速・大容量光通信システムを構築する上で、光信号で高速制御可能な高機能半導体光デバイスの実現が必須である。この高機能半導体光デバイス実現のため、外部制御光による光デバイス高速制御の研究を推進した。半導体レーザ光源を外部信号光で制御することで、その動作速度を拡大できることを実験および数値解析により明らかにした。この特性を応用して、半導体光源の重要なデバイスパラメターであるチャープパラメターの簡便な測定法を提案し、評価を行った。また、外

部共振器構造を導入したパッシブフィードバック半導体レーザにより、動作帯域の飛躍的な拡大が期待できることを数値解析により実証し、実験による検証を進めている。

２．　表面プラズモン共鳴を用いた THz バイオセンシング

表面プラズモン共鳴による局所電場増強効果を用いた新しいテラヘルツ（THz）帯バイオセンサーにおいてデバイス作製の高速化と再利用性を考慮し、THz 領域での複素誘電特性に優れた有機高分子材料（SU-8）を用いたプロセス技術を検討した。高精度な表面プラズモン共振器の微細周期構造を作製するため、電子ビームリソグラフィーにより周期幅・周期数の異なる高精度マスクを作製し、これを用いた有機材料 SU-8 の紫外露光プロセスと金薄膜蒸着により、高品質かつ複数の THz 帯プラズモン共振器を Si 基板上に同時に作製することに成功し、本プロセス技術の有用性を実証した。本デバイスを用いて、表面プラズモン共鳴による THz 波の透過実験を行い、良好な透過特性を確認した。さらに、本デバイスを用いた高解像度 THz イメージングシステムの構築を進めた。

＜職員名＞

教　授　八坂 洋　（2008 年より）
准教授　四方 潤一（2003 年より）

＜プロフィール＞

八坂　洋　1983 年 3 月　九州大学理学部物理学科卒業。1985 年 3 月　同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。1985 年 4 月　日本電信電話（株）入社、NTT 厚木電気通信研究所、NTT 光エレクトロニクス研究所、NTT 光ネットワークシステム研究所、NTT フォトニクス研究所勤務。1993 年 12 月 工学博士（北海道大学）。2008 年 4 月　東北大電気通信研究所教授、現在に至る。光通信用高機能半導体光デバイスの研究開発に従事。

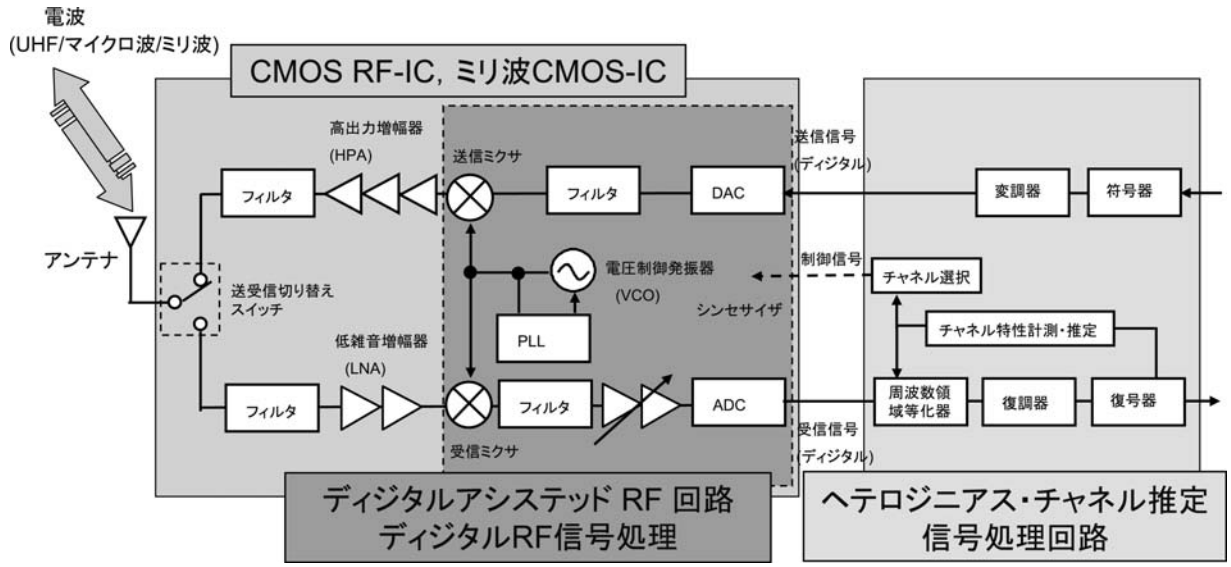
四方潤一　1992 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業。1998 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。1998 年 4 月 同大電気通信研究所助手。2003 年 2 月 同大電気通信研究所助教授、2007 年 4 月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。レーザおよび非線形光学とその応用研究に従事。応用物理学会講演奨励賞受賞（2000 年）。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1]　Hiroki Ishihara, Hiroshi Yasaka and Junichi Shikata, “High-Speed Control of Semiconductor Laser by Gain Modulation,” The 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems (SOIM-GCOE10), F7P-6, 2010.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信ネットワークの実現へ向けて



広帯域ワイヤレス通信用 1 チップ送受信機の研究
信号処理回路・デバイス・実装技術の研究として、シリコン CMOS 技術を用いた超高周波帯 RF パワーアンプ・シンセサイザ・ミキサなどの設計・開発、超小型アンテナモジュールの開発を行っている。そして、これらのシリコン RF デバイス、アンテナモジュールなどのワイヤレス通信端末に必要な回路の特性を、ディジタル回路技術を用いて補償するディジタルアシステッド RF アナログ回路の研究・開発を行っている。

先端ワイヤレス通信技術研究分野　教　授　末松　憲治

＜研究室の目標＞

人々の交流や情報のやりとりが世界規模に広がった昨今の高度情報化社会は、ユビキタス化・ブロードバンド化が進むネットワークの進化とともに発展してきた。このネットワークのさらなるユビキタス化・ブロードバンド化には無線通信技術がますます重要となる。無線通信技術の中でも、特に信号処理回路・デバイス・実装技術と変復調・ネットワーク技術はその実現に必要不可欠な両輪である。当研究室では高度情報ネットワークの実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術（Advanced Wireless IT）に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

＜2010 年度の主な成果＞

1．　シングルキャリア／マルチキャリアハイブリッド無線通信方式の研究

主に移動通信環境において広域・高速通信を両立可能とするために、シングルキャリアとマルチキャリアの各通信方式を適応的に切り替えて通信を行うハイブリッド通信に関する研究を行い、スループット特性改善効果について示した。さらに，周波数領域等化を用いたシングルキャリア通信方式を ASIC 上に実装し，ビット誤り率特性改善効果を実験的に検証した。

２． 高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF モジュールの研究

無線通信端末の伝送速度高速化・小型化・低消費電力化を目指し、ミリ波帯無線通信端末用シリコン CMOS VCO・送信増幅器やスケーラブル A/D 変換器などの検討を 90nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。

３． 小形ミリ波無線通信モジュール用アンテナの研究

家電ネットワークなどに用いられる近距離無線通信端末として、有機樹脂基板を用いた小形ミリ波無線通信モジュールの検討を行っている。本年度はこのモジュール上に実装可能な、ミリ波帯アンテナの設計・実装・評価を行った。

＜職員名＞

教　授　末松 憲治
助　教　亀田　卓
産学連携研究員　谷藤 正一

＜プロフィール＞

末松 憲治　1987 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。博士 (工学) (2000 年)。1987 年 4 月三菱電機 (株) 入社。1992 年 9 月～1993 年 9 月英国リーズ大学客員研究員。2008 年 4 月～2010 年 3 月東北大学電気通信研究所客員教授。2010 年 4 月教授。1997 年、2006 年、2009 年関東地方発明表彰発明奨励賞、2002 年第 50 回電気科学技術奨励賞 (オーム技術賞)、2009 年文部科学大臣表彰科学技術賞 (開発部門) 受賞。応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、日本エレクトロニクス実装学会、IEEE 各会員。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Copper Balls Interconnection Technology for 60GHz Band 3-D System-in-Package Modules,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), TH3F-1, Yokohama, Dec. 2010.

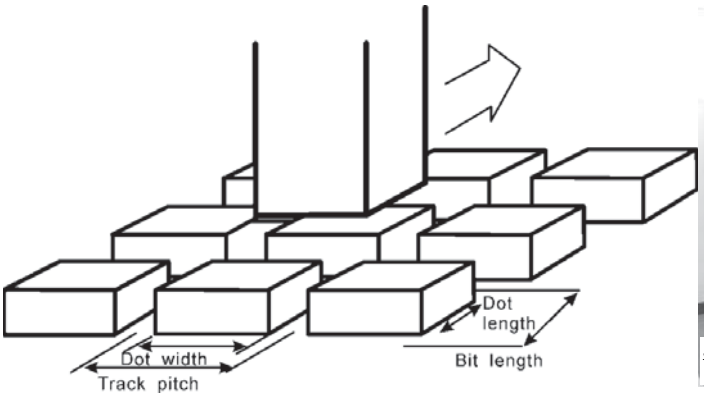
[2] T. T. Ta, K. Ando, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi,“5GHz Band Low Phase Noise Si-CMOS Oscillator with Flip-Chip Mounted FBAR,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), TH4F-3, Yokohama, Dec. 2010.

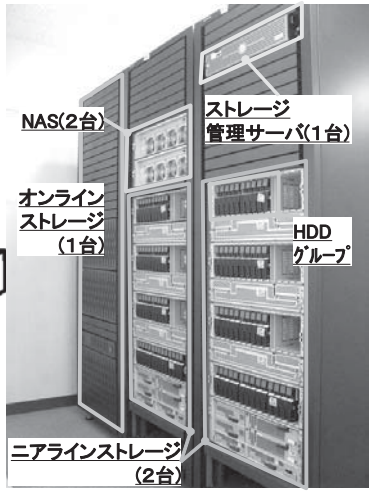
[3] S. Tomita, N. Tran, Y. Miyake, K. Komatsu, H. Oguma, N. Izuka, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Influence of Hand Tremor for 60-GHz-Band Broadband Wireless Communication Terminal Based on Advanced Kiosk Model,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), FR1C-1, Yokohama, Dec. 2010.

.

情報ストレージシステム研究室

ビットパターン型垂直磁気記録を用いた
次世代大容量情報ストレージシステムの研究





（左）パターン媒体に対する垂直ヘッドでの記録の概念図。（右）実験用に試作した階層型高速大容量ストレージシステム。

大規模ストレージシステム研究分野　教授　村岡　裕明
記録理論コンピューテーション研究分野　准教授　サイモン　グリーブス

＜研究室の目標＞

IT 技術の進展とともに扱う情報量の飛躍的な増大が続いており、2010 年には 1000 エクサバイト（10^{21} バイト）を超えると見られている。この膨大な情報の蓄積を担う中心的な技術がハードディスク装置を代表とする磁気ストレージである。現在の目標は磁気ディスク面の高密度記録化による記録容量の拡大で 1 Tbits/inch^2 の実現が間近になっており、数年先を目指して 5 Tbits/inch^2 の研究が行なわれている。本分野では、コンピュータシミュレーションを含めた記録再生理論の検討、及び実際のヘッドディスクを用いた高密度記録再生の実験を通して、今後の超高密度記録を実現するための記録再生方式の確立に取り組んでいる。また、ハードディスクドライブを応用した大容量高速ストレージシステムの省電力アーキテキチャとそのシステム制御技術の研究を加速させている。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　垂直磁気記録ハードディスクの記録再生理論の研究

上記の 1Tbit/inch^2 ではビットサイズは 1 辺が 25.4nm 四方相当である。このような超微細ビットでは、熱エネルギーによる磁化擾乱の影響が大きく微細粒子構造を持つ記録媒体を使うことができなくなる。本研究室では、記録層をリソグラフィで加工してビットを物理的に分離して形成するパターン媒体（図左）によってこれを回避する高密度化に注力している。この記録方式では書込み時

の誤り率が課題になることを明らかにし、定量的な検討の上で復号時の信号処理を工夫することで 2 Tbit/inch^2 の記録密度が実現できることを示した。今年度は、さらに記録過程を詳細に検討し、これを決める要因は記録分解能にあり記録点を局所的に加熱する熱補助記録（Heat assisted recording）を併用することで高い記録分解能を実現でき 5Tbit/inch^2 以上の面記録密度の可能性を明らかにした。

２．　コンピュータシミュレーションによる超高密度記録の研究

本研究室では、超高密度記録の実験に先行して検討を進めるために、適切なモデル化によるシミュレーションとして、磁気スピンの歳差運動を表現してナノ領域の磁化挙動を動的に解析でき、熱擾乱現象もモデル化可能な LLG (Landau Lifshitz Gilbert)方程式によるコンピュータシミュレーションを用いた検討を進めている。今年度は、新たにビットパターン媒体記録、並びに熱補助記録についての詳細なシミュレーションを実施し 5 Tbits/inch^2 以上の記録能力を実現できることを示した。

３．高速大容量ストレージシステムのシステム化の研究

生成情報量の急速な拡大が続いており、ハードディスクにはクラウドデバイスとして大規模データストレージの重要性が増している。IT21 センターにおけるストレージプロジェクトと連携してストレージシステムの消費電力を低減する研究を進めている。今年度はこの省電力型ディスクサブシステムのデータ転送性能の高速化を検討した。（図右）

＜職員名＞

教　授　村岡 裕明（2000 年より）
准教授　サイモン・J・グリーブス（2003 年より）
助　教　三浦 健司（2003 年より）
秘　書　渡辺 智絵

＜プロフィール＞

村岡 裕明　1981 年　東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株），1991 年電気通信研究所助手，1993 年同助教授，2000 年同教授。高密度磁気記録理論，磁気記録デバイス及び記録方式，情報ストレージ方式，等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞（2003 年）。IEEE Fellow (2008 年)。

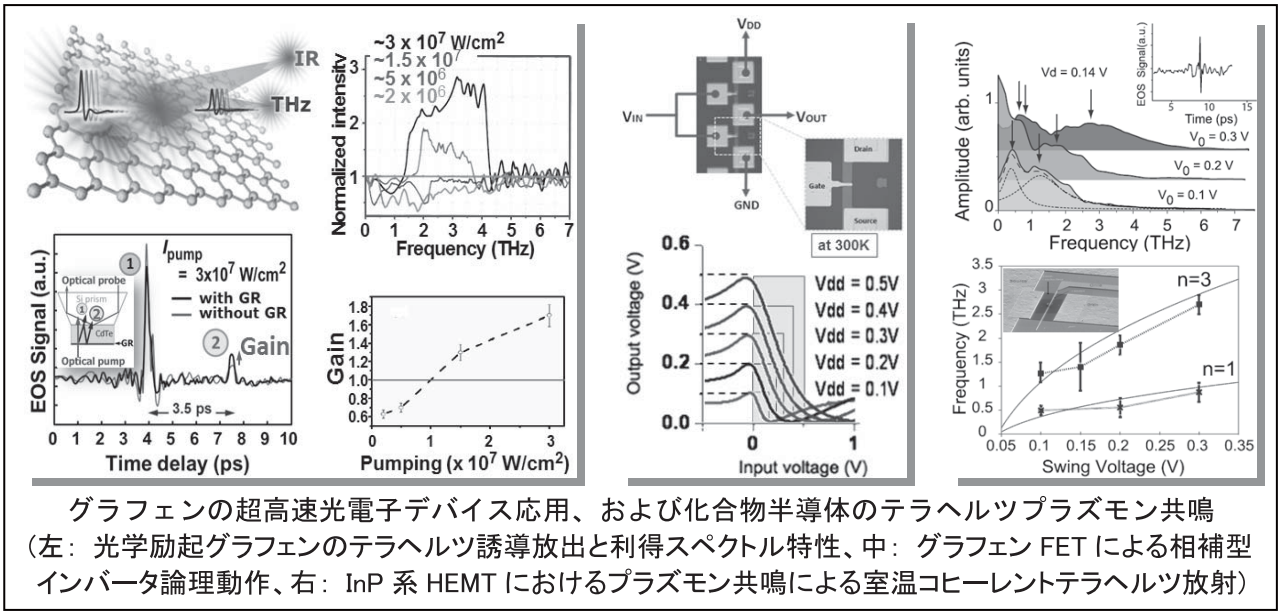
サイモン グリーブス 1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学助教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] Simon Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, “Shingled Magnetic Recording on Bit Patterned Media,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 6, pp. 1460-1463, 2010.
[2] Yuta Ikeda, Simon Greaves, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, “Relationship Between Applied Field Gradient and Magnetization Switching in ECC Structured Dots,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 6, pp. 1622-1625, 2010.
[3] Yasushi Kanai, Kazuya Koyama, Manabu Ueki, Toshio Tsukamoto, Kazuetsu Yoshida, Simon John Greaves, Hiroaki Muraoka, “Micromagnetic Analysis of Shielded Write Heads Using Symmetric Multiprocessing Systems,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 8, pp. 3337-3340, 2010.
[4] Hiroaki Muraoka, Simon Greaves, “Statistical Modeling of Write Error Rates in Bit Patterned Media for 10 Tbit/inch2 Recording,” IEEE Trans. Magn., vol. 47, no. 1, pp. 26-34, 2011.
[5] Yuichi Ohsawa, Kiyoshi Yamakawa, and H. Muraoka, “In situ magnetoresistance measurements of ion-beam-etched Fe-Co thin films,” J. Appl. Phys., Vol. 109, 07B736, 2011.

超ブロードバンド信号処理研究室

ミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と その情報通信への応用に関する研究



グラフェンの超高速光電子デバイス応用、および化合物半導体のテラヘルツプラズモン共鳴
（左：光学励起グラフェンのテラヘルツ誘導放出と利得スペクトル特性、中：グラフェン FET による相補型インバータ論理動作、右：InP 系 HEMT におけるプラズモン共鳴による室温コヒーレントテラヘルツ放射）

超ブロードバンドデバイス・システム研究分野　教　授　尾辻　泰一
極限高速デバイス研究分野　准教授　末光　哲也

＜研究室の目標＞

本研究分野では，いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し，次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として，半導体ヘテロ接合構造内に凝集した二次元電子系の分散特性や緩和応答を利用した新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と，それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　新材料グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーに関する研究

光学励起グラフェンからのテラヘルツ波誘導放出の実験検証を進め、誘導放出の証拠となるゲインスペクトルのポンピング閾値特性の観測に成功した。新しいテラヘルツレーザー実現へ前進した。

２．　新材料グラフェンによるポスト Si-CMOS 技術に関する研究

Si 基板上にエピ成長したグラフェンをチャネルとするトランジスタを要素としてインバータ論理ゲートを構成し、相補型論理反転動作の実証に成功した。ポスト Si-CMOS 実現の端緒を拓いた。

３．　二次元プラズモン共鳴を利用したテラヘルツ帯光源・検出デバイス関する研究

フェムト秒レーザーによるポンプ・プローブ測定により、高電子移動度トランジスタからのプラズモン共鳴によるコヒーレントなテラヘルツ放射の室温観測に成功した。

＜職員名＞

教　授　尾辻　泰一（2005 年より）
准教授　末光　哲也（2006 年より）
助　教　佐藤　昭　（2010 年より）
産学官連携研究員　鷹林　将
JSPS 外国人特別研究員　BOUBANBA TOMBET Stephane Albon　　秘　書　上野　佳代

＜プロフィール＞

尾辻泰一　1982 年 3 月　九州工業大学工学部電子工学科卒業。1984 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1984 年 4 月　電電公社厚木電気通信研究所入所。1999 年 4 月　九州工業大学情報工学部助教授。2001 年 9 月　同教授。2005 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。テラヘルツデバイスとその超ブロードバンド信号処理への応用に関する研究開発に従事。IEEE GaAs IC Symposium 最優秀論文賞受賞（1998 年）。電子情報通信学会，応用物理学会，IEEE，OSA 各会員。

末光哲也　1992 年 3 月　早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1994 年 3 月　同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1994 年 4 月　日本電信電話(株)入社。2002 年 1 月ー2003 年 1 月　MIT 客員研究員。2006 年 9 月　東北大学電気通信研究所助教授，2007 年 4 月　同准教授，現在に至る。化合物半導体超高速トランジスタの研究開発に従事。第 1 回応用物理学会講演奨励賞受賞（1996 年）、電子通信学会論文賞受賞（2003 年）。ELEX Best Paper Award 受賞（2007 年）。応用物理学会，日本物理学会，IEEE，APS 各会員。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] A.A. Dubinov, Y.V. Aleshkin, V. Mitin, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Terahertz surface plasmons in optically pumped graphene structures," J. Phys.: Condens. Matter, Vol. 23, pp. 145302-1-8, 2011.

[2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, and V. Mitin, "Analytical Device Model for Graphene Bilayer Field-Effect Transistors Using Weak Nonlocality Approximation," J. Appl. Phys. Vol. 109, Iss. 6, pp. 064508-1-10, 2011

[3] A. El Moutaouakil , T. Suemitsu, T. Otsuji, H. Videlier, S.e-A.n Boubanga-Tombet, D. Coquillat, and W. Knap, "Device loading effect on nonresonant detection of terahertz radiation in dual grating gate plasmon-resonant structure using InGaP/InGaAs/GaAs material systems," Phys. Stat. Solidi. (c), Vol. 8, No. 2, pp. 346–348, 2011.

[4] S. Boubanga-Tombet, F. Teppe, J. Torres, A. El Moutaouakil, D. Coquillat, N. Dyakonova, C. Consejo, P. Arcade, P. Nouvel, H. Marinchio, T. Laurent, C. Palermo, A. Penarier, T. Otsuji, L. Varani, and W. Knap, "Room temperature coherent and voltage tunable terahertz emission from nanometer-sized field effect transistors," Appl. Phys. Lett., Vol. 97, Iss. 26, pp. 262108-1-3, 2010.

[5] K. Akagawa, S. Fukuda, T. Suemitsu, T. Otsuji, H. Yokohama, and G. Araki, "Impact of T-gate electrode on gate capacitance in $In_{0.7}Ga_{0.3}As$ HEMTs,"" Phys. Status Solidi.(c), Vol. 8, Iss. 2, pp. 300-302, 2011.

[6] M. Ryzhii, V. Ryzhii, T. Otsuji, V. Mitin, and M.S. Shur, "Electrically-induced n-i-p junctions in multiple graphene layer structures," Phys. Rev. B, Vol. 82, pp. 075419-1-6, 2010.

[7] T. Otsuji, H. Karasawa, T. Watanabe, T. Suemitsu, M. Suemitsu, E. Sano, W. Knap, and V. Ryzhii, "Emission of terahertz radiation from two-dimensional electron systems in semiconductor nano-heterostructures,"" Comptes Rendus Physique, Vol. 11, Iss. 7-8, pp. 421-432, 2010.

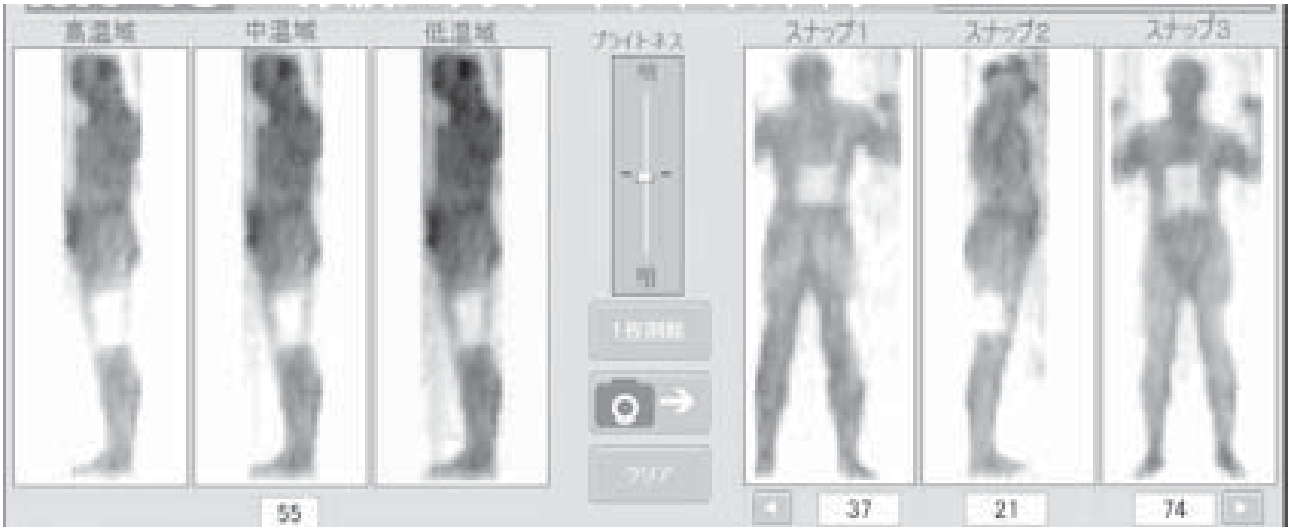
[8] H.-C. Kang, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Handa, H. Fukidome, T. Suemitsu, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Epitaxial graphene top-gate FETs on silicon substrates," Solid State Electron., Vol. 54, issue 10, pp. 1071-1075, 2010.

[9] H.-C. Kang, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Handa, T. Suemitsu, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Epitaxial graphene field effect transistors on silicon substrates," Solid State Electron., Vol. 54, issue 9, pp. 1010-1014, 2010.

[10] T. Nishimura, N. Magome, and T. Otsuji, "An intensity modulator for terahertz electromagnetic waves utilizing two-dimensional plasmons," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 5, pp. 054301-1-7, 2010.

ブロードバンド通信基盤技術研究室

ミリ波ーテラヘルツ波を用いた計測技術の研究開発



上図は、開発した 77 GHz 帯パッシブ・イメージング装置によって人を撮像した画像例である。パッシブ・イメージ像は信号の強弱によって像の濃淡を調整するが、そのとき画像の階調をいくつかの値を中心に拡大することによって、種々の対象物に対応する手法を開発した。上図は、４点の中心値に対する画像である。

＜研究室の目標＞

電磁波の応用は、通信、計測、エネルギーの 3 分野に大別できるが、電磁波スペクトラムのうちミリ波・テラヘルツ波領域は、これまで通信をその主要な応用範囲として開発が行われてきている。一方、本研究分野では、この領域を計測の手段として用い、セキュリティ分野あるいは生体計測分野への応用を目的に各種技術の研究開発を行っている。

一般的にミリ波を計測の手段として用いる手法の特徴としては、次のような項目を挙げることができる；赤外線ーテラヘルツ波に比して、物質の透過率が大きい（より深部の情報を得ることができる)、マイクロ波に比して空間分解能が良い、また LNA（低雑音増幅器）などこれまで通信技術に対して開発されてきた高性能のデバイスを使用できることなども大きな利点である。

＜2010 年の主な成果＞

本研究分野では、ミリ・テラヘルツ波計測のうち特にイメージング技術に重点をおき、研究開発を進めてきている。昨年度までは、総務省 SCOPE、文部科学省安全・安心科学技術プロジェクトなどの助成を受け開発研究を進めてきたが、本年度からは科学技術振興調整費の助成を受け、77GHz 帯パッシブ・イメージング装置実用化のための開発を進めていくことになった。なお、本プロジェクトは、引き続き東北大学、マスプロ電工（株)、中央電子（株）の３者の参加による共同開発である。

本年度の主な成果を以下に述べる。

1．　７月より９月に亘って、成田国際空港にてボディスキャナー実証実験が行われた（国土交通省)。この際世界の５機種（パッシブ３機種、アクティブ２機種）が選定されたが、本プロジェクトの機種がそのうちの１つに選ばれ、７月末の１週間実証実験が行われた。

2．　上図に示した画像のように、画面の階調をいくつかの点を中心に拡大したものを同時に示すことによって、従来見えづらかった物体を表示することに成功した。これは、放射率の低い物体を検知する際に有効な方法である。

3．　屋外の空、あるいは蛍光灯などからのミリ波を光源として画像取得を行うことによって、種々の背景の下における画像取得を行い、今後の実用化に有用なデータを得た。

4．　7月の実証実験、10月のテロ対策展への出展、3月のセキュリティショーへの出展等の経験をもとに、装置の取り扱い、設置場所等を考慮して装置全体のレイアウトなどについての検討を行った。

＜職員名＞

客員　教授　　水野　皓司（2004年より）

＜水野皓司客員教授のプロフィール＞

1963年3月 東北大・工・電子卒。1968年3月 同大学大学院博士課程了。工博。東北大助手、助教授を経て、1984年4月 教授（電気通信研究所)、2004年3月 定年退官、客員教授（東北大学名誉教授)。1972年 ロンドン大客員研究員、1990年 カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。1990年より1998年まで理化学研究所チームリーダを兼務。この間、ミリ波、サブミリ波帯デバイス・計測装置の研究開発に従事。1984年 第17回科学計測振興会賞受賞、1993年 IEEEフェロー，1998年 K. J. Button Medal 受賞、1999年 情報通信月間表彰（東北電気通信管理局)、2003年 文部科学大臣賞（研究功績者)、電子情報通信学会フェロー、2005年 Distinguished Educator Award (IEEE Microwave Theory and Techniques Society)。

＜2010年度の主な研究発表＞

1．K. Mizuno, “Millimeter-Wave Imaging through a Flame and Smoke,” IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Workshop, Ahaheim, CA, May 2010, WFC-11.

2．水野皓司、「人を守る電波センシング技術について」、計測技術（日本工業出版)、Vol. 38, No. 12, pp. 1-5, 2010年11月.

3．水野皓司、「ミリ波を用いたイメージング技術」、日本鉄鋼協会　第161回春季講演大会（討論会　先端的イメージング・画像計測技術の鉄鋼製造現場への応用)、2011年3月26日。

ブロードバンド通信基盤技術研究室

高分解能合成開口レーダの開発と民生応用

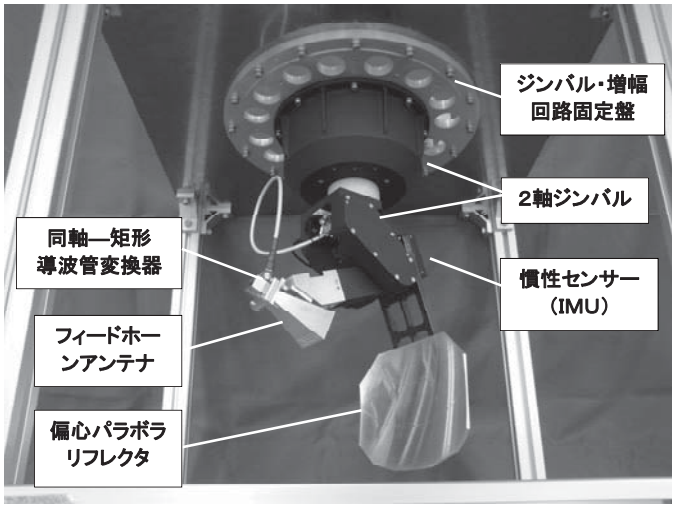


図 1 アンテナ/ ジンバル系 ：10 kg

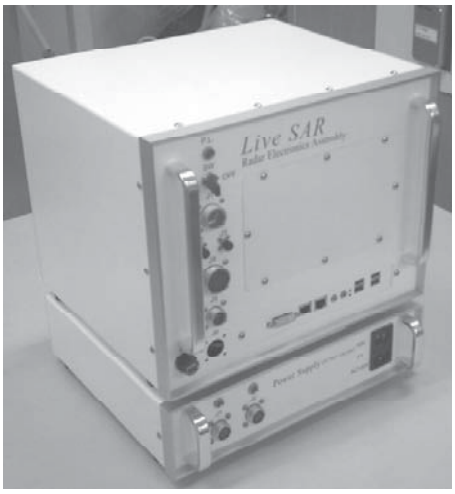


図 2 レーダ制御電子回路系 ：15 kg

＜研究室の目標＞

本研究の目標は、大規模自然災害時に威力を発揮するリアルタイム画像生成合成開口レーダ（SAR ： Synthetic Aperture Radar）システムの開発である。

今年度は、国土交通省の委託研究 2 年目の目標である (1) 偏心パラボラアンテナ付きジンバルの開発、(2) マイクロ波送受信増幅回路の開発を、他大学および企業の研究者・技術者との共同研究として進める。また、通研共同プロジェクト研究会を開催し、航空機搭載 SAR の民生応用について、全国の大学・企業の研究者と討論を行う。

＜2010 年度の主な成果＞

1. 国土交通省の委託研究、および科学研究費共同研究の遂行（参考文献 1–4 参照）

平成 21 年度より採択された国土交通省の委託研究「リアルタイム画像生成 SAR システムの実用化に関する技術開発」（研究代表者：犬竹正明）の２年目の開発を遂行した。水害等の大規模自然災害時の河川・道路・鉄道・電力・港湾の施設等の防災監視や救助活動の初動対応に威力を発揮でき、有人・無人の航空機・ヘリコプタに搭載可能な小型軽量の高分解能・高画質 SAR の技術開発である。また、平成 21 年度より採択された科学研究費：挑戦的萌芽研究「スポットライト方式 SAR システムの開発」（代表者：間瀬淳）の２年目の共同研究を推進した。

2. リアルタイム画像生成 SAR“Live SAR”のハードウェアの完成 （上図参照）

H22 年度は以下の二つの開発を行い、“Live SAR”のハードウェアが完成した。

(i)慣性センサー（IMU）・アンテナ付き高速スキャンジンバルの開発 （図 1 参照）

超小型 MEMS 慣性センサー(MEMS-IMU)付き小型軽量ジンバル、およびマイクロ波ビームを送信・受信

するため「偏心パラボラリフレクタアンテナ」を開発した。質量 10 kg の軽量化に成功した。
(ii)送受信回路系の開発 （図 2 参照）

高精度遅延電子回路系(平成 21 年度開発)により合成された信号の周波数を Ku バンドのマイクロ波に変換するための「周波数変換器」、レーダに必要な出力まで増幅するマイクロ波増幅器、および低雑音受信前置増幅器から構成される「Ku バンドフロント」、レーダコントロール及びデータ転送のため「コントローラ/インターフェイス」を開発した。レーダコントロール系およびジンバル制御系の合計質量は 15 kg である。

3. 民生用 SAR に関する通研共同プロジェクト研究会の開催

平成 23 年 2 月 2 日、通研共同プロジェクト研究会(代表者：間瀬淳九大特任教授)を IEEE GRSS (Geo-science and Remote Sensing Society)との協賛で開催した。(i) 航空機 SAR による大規模水害時の洪水域把握を目的とした観測結果、(ii) リアルタイム SAR “Live SAR” のハードウェア開発結果、(iii) SAR ソフトウェア “SAR Tools” の新提案などの講演があった。大学や関連企業からの参加者 50 名余による活発な意見交換が行われ、民生用 SAR 開発に関する全国的産学連携ネットワークを構築できた。

＜職員名＞

客員教授　犬竹 正明（2007 年より）
(共同研究：九州大学産学連携センター、福岡工業大学、東北大学東北アジア研究センター)

＜プロフィール＞

1966 年 3 月　東京大学工学部航空学科宇宙工学専修卒業。1968 年 3 月　同大学院工学系研究科修士課程修了。1972 年 3 月　同大学院工学系研究科博士課程修了。1972 年 4 月　日本学術振興会奨励研究員。1973 年 4 月東京大学宇宙航空研究所協同研究員。1974 年 4 月　名古屋大学プラズマ研究所助手。1980 年 5 月　筑波大学物理工学系助教授。1994 年 4 月　東北大学工学部電気工学科教授。1997 年 4 月　東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻教授に配置換。2007 年 3 月　同定年退職。2007 年 4 月　東北大学電気通信研究所客員教授、現在に至る。東北大学名誉教授。日本学術会議連携会員。

高密度プラズマ源の開発。アルヴェン波の物理機構解明と磁場核融合プラズマ加熱への応用。磁気ノズル中超音速プラズマ流の波動加熱・加速の物理機構解明と宇宙プラズマ推進機への応用。ミリ波・レーザによるプラズマ診断法等の研究開発。民生用高性能合成開口レーダの開発に従事。プラズマ・核融合学会論文賞（1993 年)。平成 20 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門) (2008 年).

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] 犬竹正明、池地弘行、間瀬　淳、近木祐一郎、佐藤源之：レーザレーダ装置およびレーザ合成開口レーダ装置」特願 2011-015915.
[2] Y. Yokota, A. Mase *et al.*, “Reconstruction method of X-mode ultrashort-pulse reflectometry in LHD”, J. Phys. Conf. Ser. **227**, 012034 (2010).
[3] Y. Kogi, S. H. Jeong *et al.*, M. Kwon, and K. Kawahata: “Calibration of electron cyclotron emission radiometer for KSTAR”, Rev. Sci. Instrum. **81**, 10D916 (2010).
[4] S.-W. Chen and M. Sato: “A Novel Method for Polarimetric SAR Image Speckle Filtering and Edge Detection”, The 4th Joint PI Symp. ALOS Data Nodes for ALOS Science Program, Tokyo (Nov 2010) pp. 55.

３．３　人間情報システム研究部門の目標と成果

情報通信システムの高度化のためには，人間の情報処理過程の仕組みの解明とその応用，いつでも・どこでも通信できる環境の実現が重要である．本部門は，生体情報生成の解明、音声・視覚を中心とした人間情報処理過程の解明を進め、さらにこれらとナノテクノロジーの融合、情報通信環境の最適化を行うことにより，人間によりフレンドリーな高度情報通信システムを実現するための要素技術とシステム技術開発を目標としている。

この目標達成のため，本部門は次の 5 研究分野で研究を進めている：(1) 生体と情報通信環境について有用な情報の創成と制御システム実現を目指す生体電磁情報研究分野、(2) 聴覚認識情報処理過程の解明と高次音環境及びマルチモーダル情報の認識・符号化・提示システムの研究開発を行う先端音情報システム研究分野、(3) 視覚を中心とした脳の情報処理機構の解明と視環境・情報環境評価などの応用的展開の研究を行う高次視覚情報システム研究分野、(4) 分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う先端情報通信領域創成研究分野、(5)いつでも何処でもユビキタスに通信手法を意識することなく通信できる環境の実現を目指すユビキタス通信システム研究分野。

2010 年度の各分野の研究目標と成果の概要を以下に示す。

(1) 生体電磁情報研究分野

(目標)磁気的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行した。

(成果)超高感度センシングシステムに関して引き続き検討を行い、その異方性と感度の関連について検討を進めた。さらに金属部品を用いない高周波磁界計測プローブの開発を行い、それが位相情報も含めた高周波磁界を計測できることを明らかにした。加えて磁気マーカーを利用した三次元位置検出システムに関する検討を行い、その検出精度を決定する要因を明確化した。外部から磁界を与えて動作させる磁気アクチュエータに関しては、回転磁界を与えることにより生物模倣型の各種のアクチュエータが実現できることを示したほか、試作した小型ワイヤレスポンプを人工補助心臓ポンプとしての適用性を検討し、動物実験によりその有用性を確かめた

(2) 先端音情報システム研究分野

（目標）ヒトの最重要情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程と，聴覚を含む複合感覚情報処理過程を明らかにするとともに，その知見を応用して，臨場感あふれる音響通信システムやユーザインターフェイス等の開発を行っている。

（成果）将来のマルチモーダル，マルチメディア通信システムの実現に重要な人間のマルチモーダル知覚情報処理過程を，特に，異なった感覚情報の時空間統合の観点から明らかにする研究を強力に進めている．本年度は，視聴覚マルチモーダル情報の前景情報と背景情報を変化させたときの迫真
性と臨場感が異なる挙動を示すことを示した．また，3次元音空間制御手法に研究を進め，その鍵となる頭部伝達関数(HRTF)と頭部形状の関係を明らかにするとともに，100ch以上の超多チャネル高次アンビソニックス(HOA)による集音・再生システム，252chの超多チャネル両耳聴収音システムSENZIを開発した．また，高齢者の聞き取り改善のための話速変換が読唇音声知覚過程に及ぼす影響の解明など，聴覚障害者のバリアフリー実現を目指す研究

を進めた．この他， Multiple description符号化によるネットワーク音情報通信のセキュア化とロバスト化，次世代補聴システムへの適用を念頭にした環境雑音と音声信号とを効果的に分離する選択的両耳聴アルゴリズムの開発を進めた．

(3) 高次視覚情報システム研究分野

（目標）人間の視覚に関連する脳の情報処理機構の解明することから，それに則した視環境，情報環境，情報機器の評価などの応用的展開を目的とした研究を行っている。

（成果）２２に年度は、フラッシュラグ効果を用いた注意の測定、NIRS による空間的注意の計測の注意計測における成果と、視覚野における色表現様式についての知見において顕著な成果を得た（詳細は後述)。注意に関する研究は、注意モデル構築のための基礎的な知見を得るために有効であり、視覚野における色表現の研究は視覚モデルに基づく的確な画像提示システムの構築への基礎的な知見となる。その他、研究成果として、脳波による注意の計測、奥行き運動処理の空間周波数特性、触運動と視覚処理の共通メカニズムの発見などがあげられるが、これらの明確化にはさらなる研究の継続が必要である。

(4) 先端情報通信領域創成研究分野

（目標）ナノバイオテクノロジーと情報通信の境界領域研究として、分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う。ナノレベルでの局所的な相互作用や協同現象を、そのままの姿で取り込むための計測デバイスの開発が我々の研究の目標である。

（成果）鎖長の異なるアルカンチオールで被覆した銀微粒子を用いることで、二次元結晶シート内の微粒子間距離をナノオーダーで制御し、粒子間距離とプラズモン共鳴ピークシフトとの関係について明らかにした。またこれらの実験結果について FDTD 計算による検証を行った。さらにライフイノベーションを目指して、微粒子シートによるプラズモン増強蛍光測定を開始した。

(5)ユビキタス通信システム

(目標) ユビキタス通信の目標は誰とでも、どこでも、何時でも通信手段を意識することなく通信出来る通信環境を実現することである。この目標実現のために、マルチ Gbps の通信を自由に利用できるスーパ・ブロード・バンド通信の核となる技術を研究開発する。また、IEEE での国際標準化に貢献・をリードしており、今後もこの貢献・リードを続ける。

(成果) 本年度の主な研究成果は(i)実用可能なレベルの 60GHz 帯ビームフォーミングアンテナの試作・開発に成功、(ii) 実用可能なレベルに近い 60 GHz 電力増幅器及び移相器の試作・開発に成功、(iii)屋内通信の不通信確率を従来の 1/10 以下に低減する技術を開発し、スーパ・ブロード・バンド通信の実用展開に大きく貢献、(iv) 自動車内通信を無線で実現するワイヤレス・ハーネスシステムを提案し、実用化が可能であることを実証した。

生体電磁情報研究室

生体との良好なコミュニケーションを目指して

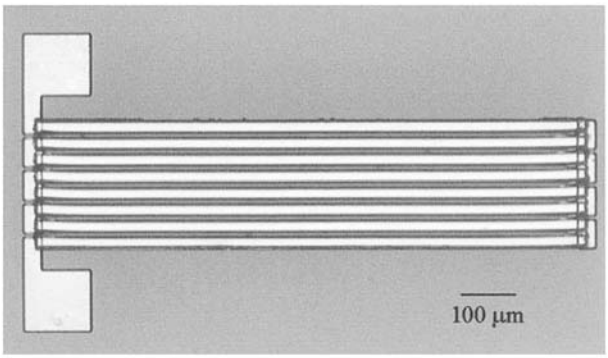


図１　高感度薄膜磁界センサ

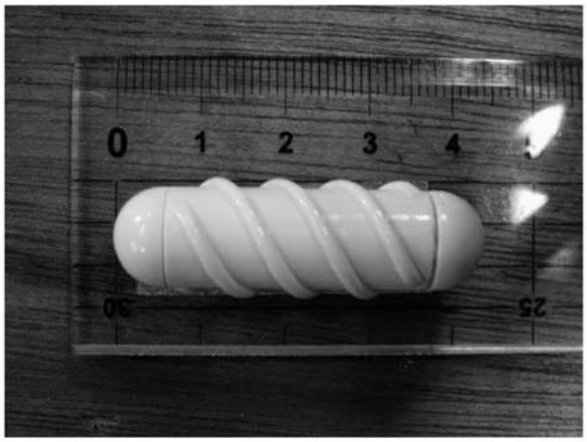


図２　カプセル内視鏡駆動用磁気アクチュエータ

生体電磁情報研究分野　教　授　石山 和志
生体電磁材料研究分野　准教授　杤 修一郎

＜研究室の目標＞

磁気的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行する。これらの研究を通じて、生体の発する情報を受け取る技術ならびに生体に対して働きかけを行う技術の確立を目指す。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　異方性を制御した磁性薄膜を利用した新たな磁気デバイスの提案とセンサ応用

当分野が継続的に行っている超高感度センサ研究に関して、ひずみと磁界とを複合的に与えた場合の磁性薄膜の異方性変化について定量的な評価を進めることで、感度向上とともに印加バイアスの低減化を実現した[1] [4]。

２．　高周波磁界計測に関する研究

金属部品を用いない高周波磁界計測プローブの開発ならびにそれを用いた新しい計測手法に関する検討を行い、振幅のみならず位相情報も計測可能な手法を提案するとともに、試作したプロトタイプを用いて提案を実証した[5]。

３．　三次元位置検出システムに関する研究

磁気マーカーを利用した三次元位置検出システムに関する検討を行い、その検出精度を決定する要因を定量的に明らかにするとともに、その小型化への指針を示した[3]。

４．　磁気アクチュエータに関する研究

磁気トルクを利用したマイクロポンプとその医療応用についてさらに検討を進め、特に回転磁界を用いた生物模倣型ロボットの設計と試作を行い、従来検討されていたアクチュエータでは実現できない複雑な動きを単純な構造で実現できることを実証した[2][6][7]。

５．　次世代医療機器に関する研究

2010 年より、ワイヤレスポンプとその医療応用に関する検討を開始した。人工補助心臓への適用では、試作したポンプが医療現場からの要求スペックを満たすことを明らかにし、動物実験で皮膚を介したワイヤレス動作が可能であり要求される圧力と吐出量も満足できることを明らかにした。

＜職員名＞

教　授　石山 和志（2007 年より）
准教授　杤 修一郎（2010 年より）

＜プロフィール＞

石山 和志　1986 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1988 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1988 年 4 月　同大電気通信研究所助手。1993 年 1 月　博士（工学）学位取得。2003 年 1 月　同助教授。2003 年 4 月から 2005 年 3 月まで内閣府総合科学技術会議事務局参事官補佐（兼務）。2007 年 4 月　東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。磁気工学ならびに磁気応用に関する研究開発に従事。電気学会優秀論文発表賞(1991)、原田研究奨励賞(1996)、Best Paper Award on International Conference on Ferrites (2000)、生体医工学シンポジウムベストリサーチアワード(2004)、日本応用磁気学会論文賞(2005)。

杤 修一郎　1990 年 3 月　琉球大学工学部電気工学科卒業。1992 年 3 月　同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992 年 4 月　本田技研工業（株）入社。1998 年 3 月　東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998 年 4 月　医薬品機構派遣研究員。2000 年 7 月　岐阜大学工学部助手。2007 年 4 月　同大工学部助教。2008 年 4 月　東北大学電気通信研究所助教。2010 年 6 月　同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

国際会議招待講演

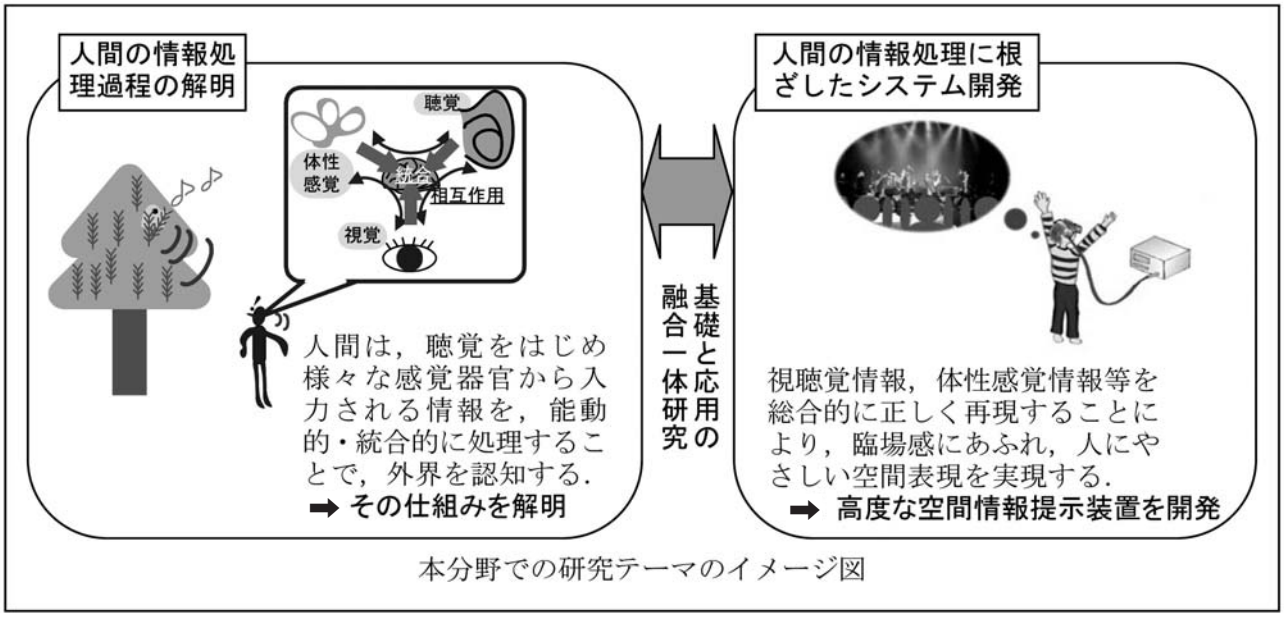
Kazushi Ishiyama, “Magnetoelastic materials for actuators and sensors,” International Conference on Magnetic Materials, A-183, Kolkata, India, (2010).

査読付原著論文

[1] 諏訪靖明、我妻成人、杤修一郎、石山和志、「磁歪膜を用いた歪センサのインピーダンス変化に関する検討」J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 34, No. 3, pp.342-346, 2010.
[2] S. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, “Methodology of Dynamic Actuation for Flexible Magnetic Actuator and Biomimetic Robotics Application,” IEEE Trans. Magn., Vol. 46, No. 6, pp. 1366–1369, 2010.
[3] S. Hashi, K. Ishiyama, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. I. Arai, “Analysis and improvement of detection accuracy for a wireless motion sensing system using integrated coil component,” J. Appl. Phys., Vol. 107 , No. 9, pp. 09E701, 2010.
[4] Y. Suwa, S. Agatsuma, S. Hashi, K. Ishiyama, “Study of Strain Sensor Using FeSiB Magnetostrictive Thin Film,” IEEE Trans. Magn., Vol. 46 , No. 2, pp. 666 – 669, 2010.
[5] 那須野弘、杤修一郎、石山和志、安達信泰、「パルスレーザによる磁界波形測定」J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 35, No. 3, pp. 273-276, 2011.
[6] S. H. Kim, S. Hashi and K. Ishiyama, “Magnetic Robotics: A Biologically Inspired Walking Robot,” J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 35, No. 2, pp. 149-156, 2011.
[7] S. H. Kim, S. Hashi, and K. Ishiyama, “A basic study of a triangular magnet chain for locomotion control,” J. Appl. Phys., Vol. 109 , No. 7, pp. 07E318, 2011.

先端音情報システム研究室

高次音響情報通信システムの実現を目指して



本分野での研究テーマのイメージ図

先端音情報システム研究分野　教　授　鈴木　陽一
音情報コミュニケーション研究分野　准教授　岩谷　幸雄

＜研究室の目標＞

高次かつ高度な人間情報通信システムを実現するためには，人間の情報処理の仕組みを明らかにすることが不可欠である．本分野の研究目標は，人間の知覚情報処理系の中で最重要な情報処理過程の一つである “聴覚” における情報処理過程を明らかにすることである．さらに，聴覚情報と視覚・体性感覚情報とのマルチモーダル処理過程についても研究を行っている．これらの基礎的な知見を応用し，高度な音響情報通信システムやユーザインターフェース，さらには臨場感にあふれ快適な 3 次元音空間表現を実現する．

＜2010 年度の主な成果＞

１．　聴覚および聴覚を含むマルチモーダル感覚情報処理過程の解明

人間は複数の感覚情報を統合並列処理することにより外界をより安定・正確に認識している．本研究室ではマルチモーダル感覚情報処理過程における聴覚情報の役割に着目して研究を進めいる．本年度は，2009 年度に世界で初めて発見した聴覚誘導性視運動知覚（sound induced visual motion：SIVM，移動する聴覚刺激によって実際には静止している視覚点滅刺激が動いて見える現象）の上方知覚特性を明らかにした[1]ほか，文献[2]のような知見等を数多く得ることができた．

２．　3 次元音空間認識と制御・再現手法の研究

音空間認識時には，音像定位の対象となる音源の位置からの音だけでなく，反射音といった周囲の音の存在も大きな役割を果たす．本年度は可動式ダミーヘッドを用いて，頭部運動が音像定位に及ぼす影響を知覚実験により詳細に検討した．その結果，頭部運動のベクトル方向と音像の変化の

方向が整合することが重要であるという知見が得られた（文献 3）．また，多チャネルマイクロホンやスピーカを用いた音空間制御・提示手法について研究を進めている（例えば文献[4]）．

３． 高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発

音情報は，高品質マルチメディア情報の重要な要素の一つである．ネットワーク通信における音情報の重要性はさらに高まっており，特にその情報の安全性の保証と，高付加価値化が求められている．本年度は，G. 711 音声通信における情報ハイディング手法として文献[5]などの成果を得た．

＜職員名＞

教　授　鈴木 陽一（1999 年より）
准教授　岩谷 幸雄（2007 年より）
助　教　坂本 修一
技術職員　齋藤 文孝
非常勤研究員　岡本 拓磨，小林 まおり，崔 正烈，寺本 渉，姜　大基，
研究支援者　千葉 順子，　事務補佐員　小野寺 美紀

＜プロフィール＞

鈴木　陽一　1976 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業．1981 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了．1981 年 4 月　同大電気通信研究所助手．1987 年 4 月　同大大型計算機センター助教授．1989 年 7 月　同大電気通信研究所助教授．1999 年 8 月　同教授，現在に至る．音の大きさおよび音色，騒音の評価，3 次元音空間知覚と制御，ディジタル補聴器，音信号のディジタル信号処理手法等，人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事．日本音響学会佐藤論文賞受賞（1992 年，1994 年），（社）日本音響学会会長（2005 年 5 月から 2007 年 5 月まで）．アメリカ音響学会フェロー．

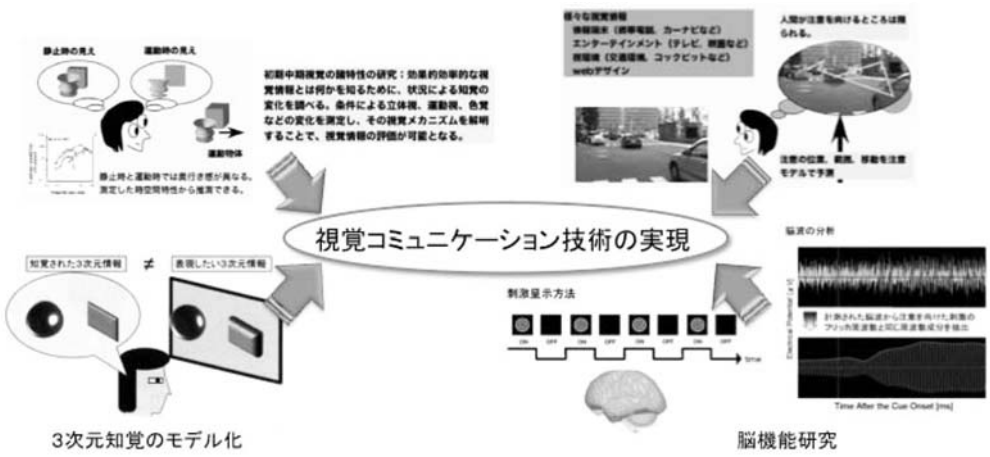
岩谷　幸雄　1991 年 3 月　東北大学工学部情報工学科卒業。1993 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士前期課程修了．1993 年 4 月　秋田大学助手。1999 年 2 月博士（情報科学）東北大学．2000 年 11 月　同大学講師．2002 年 1 月　東北大学電気通信研究所助教授，2007 年 4 月から同准教授，現在に至る．音空間の知覚と提示システムの構築等に従事．船井ベストペーパー賞(2005 年 FIT2005)等を受賞．内閣府上席調査員（2007 年 4 月から 2009 年 3 月まで）．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] Wataru Teramoto, Yuko Manaka, Souta Hidaka, Youichi Sugita, Ryota Miyauchi, Shuichi Sakamoto, Jiro Gyoba, Yôiti Suzuki and Yukio Iwaya, “Visual motion perception induced by sounds in vertical plane,” Neuroscience Letters, Vol. 479, No. 3, pp. 221-225, 2010.
[2] Teramoto, W., Hidaka, S., Gyoba, J., and Suzuki, Y., “Auditory temporal cues can modulate visual representational momentum,” Attention, Perception & Psychophysics, Vol. 72, No. 8, pp. 2215-2226, 2010.
[3] Iwaya, Yukio, Masuyama, Yusuke, Otani, Makoto, Suzuki, Yôiti, “Sound localization in median plane using an avatar robot “TeleHead” with synchronization of a listener’s horizontal head rotation,” Proc. 20th Intl. Congress on Acoustics (ICA2010), 6-page paper in CD-ROM (2010.8), Sydney, Australia.
[4] Shuichi Sakamoto, Jun'ichi Kodama, Satoshi Hongo, Takuma Okamoto, Yukio Iwaya and Yôiti Suzuki, “SENZI - a 3D sound-space recording system using spherical microphone array with 252-ch microphones -,” Proc. 20th Intl. Congress on Acoustics (ICA2010), 4-page paper in CD-ROM (2010.8), Sydney, Australia.
[5] Akinori Ito, Shun’ichiro Abe and Yôiti Suzuki, “Information Hiding for G.711 Speech Based on Substitution of Least Significant Bits and Estimation of Tolerable Distortion,” IEICE Trans. on Fundamentals, Vol.E93-A No.7 pp.1279-1286, 2010.

高次視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



ものの見え方は様々な要因で変化し，画像や環境のどこを見るかで視覚情報の効果は変わる．それらを予測するためには，視覚の特性を理解しモデルを構築する必要がある。それらの研究に基づき，真の視覚コミュニケーションが実現できる．

高次視覚情報システム研究分野　教　授　塩入 諭
知覚脳機能研究分野　准教授　栗木 一郎

＜研究室の目標＞

人間の脳機能は，環境に柔軟に適応できるシステムによって実現されている．このような脳機能を知ることは，工学を含め我々を取り巻く環境のデザインや評価にとってもっとも重要な課題のひとつである．本研究分野では，脳機能について特に視覚系の働きの研究から探求し，その成果を情報通信における人間工学，画像工学などへ展開することを目的としている．人間の視覚特性を知るための心理物理学的実験を中心に脳機能測定やコンピュータビジョン的アプローチを利用して，視覚による立体認識，運動認識、色認識、注意や眼球運動による選択機構の研究を行っている．

＜2010 年度の主な成果＞

１．フラッシュラグ効果を用いた注意の測定

注意モデルの構築のために、環境に依存した注意位置・範囲の測定が欠かせない。注意は視線と連動する場合が多いが独立な処理過程である。特に、その範囲（広さ）については、視線位置からはわからないため、別の方法による測定が必要である。我々は、いくつかの注意測定方法について検討してきたが、２２年度はフラッシュラグ効果を用いた方法で大きな成果を得ることができた。フラッシュラグ効果は運動刺激の位置が瞬間提示されたフラッシュ刺激の位置より進んで見える現象であるが、注意状態によってその効果量が変化するといわれていた。我々は、注意状態とフラッシュラグ効果の定量的な関連を明らかにして、それを用いることで注意の強さと範囲を測定することに成功した。それによって、高速での運動物体には強く注意を向ける、注意の強さと広さには負の相関がある（ある位置に強く注意を向けると注意範囲はせまくなる）ことを明らかにした。

２．NIRS による空間的注意の計測

注意状態は脳活動に影響することが知られていて、脳活動の計測から注意の処理課程ついて検討す

る研究が増えている。我々は近赤外分光計測（NIRS）による脳血流計測と視覚による空間的注意との関連を調査し、注意の程度と脳血流量の相関があることおよび注意を向ける視野に依存した顕著な効果があることを明らかにした。

３．視覚野におけるポスト反対色処理

ヒトの fMRI による脳活動計測から、各視覚野の処理過程を調査する技術が開発されている。我々は、心理物理学的手法である選択的色順応と脳活動計測を組み合わせ、視覚野における色処理が赤／緑と青／黄の反対色処理を一歩進めた形式であることを明らかにした。それは、赤、緑、青、黄を混色した中間的な色表現を持つもので、中間的な色に選択的に感度を持つニューロンがあることを示唆する結果である。

＜職員名＞

教　授　塩入　　諭（2005 年より）

准教授　栗木　一郎（2006 年より）

助　教　松宮　一道（2005 年より），徳永　留美（2010 年より）

産学連携研究員　荻谷　光晴，　松原　和也，　秘　書　今野　亜未

＜プロフィール＞

塩入 諭　1986 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了. その後 1989 年 5 月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務. カナダより帰国後，1990 年 4 月まで ATR 視聴覚機構研究所で勤務．1991 年 5 月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手，助教授, 同大学メディカルシステム工学科教授を経て, 2005 年 3 月より東北大学電気通信研究所･教授. 運動視，立体視，色覚を中心とした初期視覚処理と，眼球運動および注意による視覚情報の選択過程のメカニズムの解明とその応用に関する研究に従事.

栗木 一郎　1996 年　東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。その後 1999 年 10 月まで　東京工業大学像情報工学研究施設助手。2001 年 3 月まで東京大学大学院工学研究科助手．2005 年 10 月まで NTT コミュニケーション科学基礎研究所研究員．2006 年 1 月から東北大学電気通信研究所助教授．2007 年 4 月　同准教授，現在に至る．人間の色覚メカニズムに関する研究に従事．照明学会論文賞受賞（1998 年）．日本光学会論文賞受賞（2000 年）.

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] 山崎隆紀，松宮一道，栗木一郎，塩入　諭 : “ポインティング行動における空間表象の位置情報の影響”, VISION Vol. 22, No. 3, 149-163, 2010.

[2] Takahashi, S., Ishikawa, T., Hyodo, Y., Ohashi, I., Shimpuku, Y., Matsubara, K., Matsumiya, K., Shioiri, S.: “Control of subjective depth on 3-D displays by a quantified monocular depth cue”, Journal of the SID 19/1, 1-8, 2011.

[3] Kuriki, I., Nakamura, S., Sun, P., Ueno, K., Matsumiya, K., Tanaka, K., Shioiri, S., Cheng, K.: “Decoding color responses in human visual cortex”, IEICE TRANSACTIONS on Foundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences E94-A(2), 473-479, 2011.

[4] Kashiwase Y, Matsumiya K, Kuriki I, and Shioiri S: “Timings of attentional ‘disengagement’ and ‘reengagement’ estimated with steady-state visual evoked potential”, Vision Sciences Society (VSS), Florida, USA, May 2010.

[5] Inamura, T., Shioiri, S., Tsujimura, S. and Yaguchi, H.: A nonlinear two-stage model for color discrimination. Journal of Optical Society of America A (accepted)

[6] Harasawa,,M. and　Shioiri, S.: “Asymmetrical brain activity induced by voluntary spatial attention depends on the visual hemifield: A functional near-infrared spectroscopy study”, Brain and Cognition, 75, 292-298, 2010.

先端情報通信領域創成研究室

銀ナノ微粒子二次元結晶シートの作製とデバイス応用

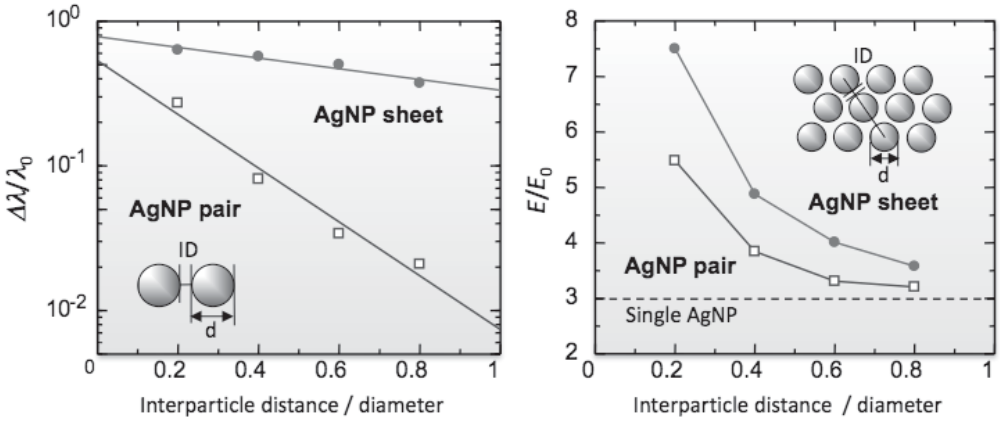


図１ 自己組織化により作成した銀微粒子二次元結晶シートにおける協同的局在プラズモン励起

先端プラズモニックシステム研究分野　教　授　玉田　薫

＜研究室の目標＞

本研究分野では、ナノバイオテクノロジーと情報通信の境界領域研究として、分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う。中でも金属–有機物接合界面における伝搬型および局在プラズモン共鳴に関わる現象について広く研究を展開する。未来型バイオセンシングでは、時空間的広がりを持つ高度で複雑な分子情報をあるがままにリアルタイムで収集・蓄積し、それを網羅的に解析、柔軟に検索・再活用できるシステム構築が必要である。ナノレベルでの局所的な相互作用や協同現象を、そのままの姿で取り込むための計測デバイスの開発が我々の研究の目標である。

＜2010 年度の主な成果＞

１．銀微粒子２次元シートからの STM 発光：[1]

上原研との共同研究で、銀微粒子二次元結晶における協同的局在プラズモン励起の STM 発光に及ぼす影響について評価した。

２．銀微粒子２次元シートにおける協同的局在プラズモン励起現象の実験および理論による解明：[2]

鎖長の異なるアルカンチオールで被覆した銀微粒子を用いることで、二次元結晶シート内の微粒子間距離をナノオーダーで制御し、粒子間距離とプラズモン共鳴ピークシフトとの関係について明らかにした。さらにこれらの実験結果について FDTD 計算による検証を行った。

３．表面プラズモン増強蛍光発光に関する検討

ライフイノベーションを目指して、微粒子シートによるプラズモン増強蛍光測定を開始した。

４．銀微粒子二次元結晶シートによる酸化チタンナノチューブ非接触触媒活性の評価

銀微粒子二次元結晶シートをマーカーとして、白金担持酸化チタン薄膜の非接触光触媒活性（基板垂直方向）について評価した。その結果、紫外光照射停止後も連鎖的光触媒反応が表面で生じていることを実験的に明らかにした。

５．不均一無機結晶の表面プラズモン（SPR）法による評価

希薄溶液から乾燥・析出した無機結晶について、ナノ結晶サイズにより SPR 検出感度が大きく異なることを実験および理論計算（Maxwell-Garnett）により検証した。

＜職員名＞

教　授　玉田　薫（2007 年より）
教育研究支援者　吉田　晃人（2010 年より）

＜教授のプロフィール＞

1984 年 3 月奈良女子大学理学部化学科卒業。1984 年 4 月日本合成ゴム（現 JSR）筑波研究所研究員。1991 年 12 月　米国ウィスコンシン大学化学科研究員。1993 年 7 月理学博士（奈良女子大学）。1993 年 9 月理化学研究所国際フロンテイア研究システム博士研究員。1995 年 4 月工業技術院物質工学工業技術研究所主任研究員。この間オーストラリア国立大学、ドイツマックスプランク高分子研究所、シンガポール国立大学客員研究員。1999 年 9 月通産省工業技術院総務部技術評価課。2003 年 4 月（独）産業技術総合研究所光技術研究部門バイオフォトニクスグループ長。2005 年 4 月東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻准教授。2006 年 10 月シンガポール国立大学理学部物理学科連携（准）教授。2007 年 10 月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。日本表面科学会理事。応用物理学会有機分子バイオエレクトロニクス分科会副幹事長。アメリカ化学会会員。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] Nanoscale coupling of photons to vibrational excitation of Ag nanoparticle 2D array studied by scanning tunneling microscope light emission spectroscopy, Satoshi Katano, Koji Toma, Mana Toma, Kaoru Tamada and Yoichi Uehara, Phys. Chem. Chem. Phys., 12, 2010, 14749.
[2] Collective plasmon modes excited on a silver nanoparticle 2D crystalline sheet, Mana Toma, Koji Toma, Kanae Michioka, Yasuhiro Ikezoe, Daiki Obara, Koichi Okamoto and Kaoru Tamada, Phys. Chem. Chem. Phys. 2011, 12, 14749-14753.
[3] Gemini-SAMs, K. Tamada, Handbook of Biofunctional Surfaces (Edit. W. Knoll), Pan Stanford publishing, Singapore, 2010.
[4] 先端プラズモン計測と界面反応, 玉田薫, Current Review 04 : 新しい局面を迎えた界面の分子科学（化学同人）2011.
[5] プラズモンセンサーの現状, 玉田薫, 新材料・新素材シリーズ : フォトニックナノ構造の最近の進展（シーエムシー出版）2011.
[6] 銀微粒子二次元結晶における協同的局在プラズモン共鳴現象, 玉田薫, 岡本晃一, 第 118 回微小光学研究会予稿集（応用物理学会）2010.

ユビキタス通信システム研究室

60GHz 帯を用いた Super Broadband Wireless System の実現

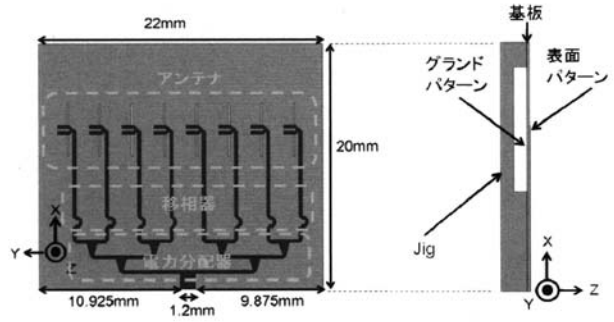


図 1　ミリ波ダブルスロットアレイアンテナ

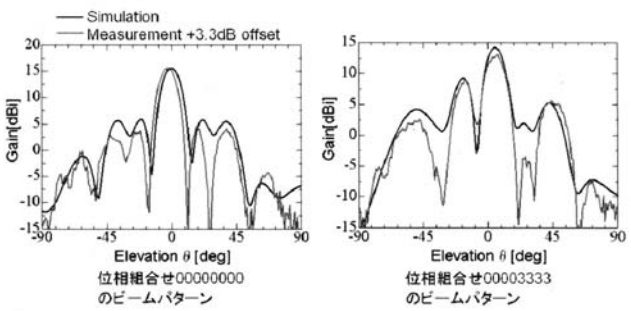


図 2　アンテナビームパターン

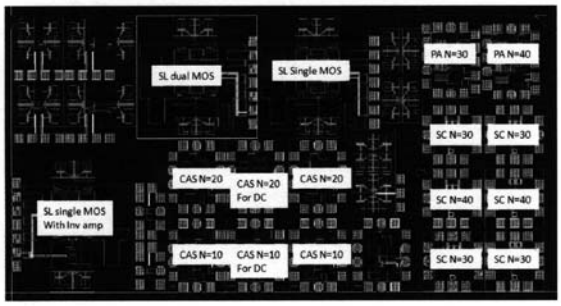


図 3　試作 CMOS 電力増幅器のチップ写真

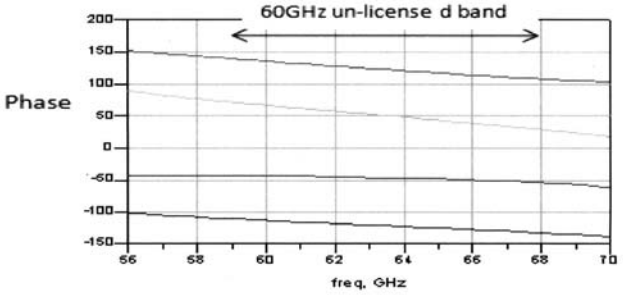


図 4　離散移相器のシミュレーション結果

ユビキタス通信システム研究分野　加藤教授、ユビキタス通信用 RF デバイス研究分野　中瀬　准教授

＜研究室の目標＞

ユビキタス通信の目標は何時でも、どこでも、誰とでも通信手段を意識することなく通信出来る通信環境を実現することです。この目標実現のために、マルチ Gbps の通信を自由に利用できるスーパ・ブロード・バンド通信の核となる技術、伝搬特性、アンテナ、RF デバイス、変復調・誤り訂正、制御ソフトからシステムの研究開発をしています。また、日本発技術の国際(IEEE)標準化にも大きく貢献します。

＜2010 年度の主な成果＞

コア技術の研究・開発を進め、ミリ波を用いたスーパ・ブロード・バンド通信の実用展開に大きく前進。

1) 実用可能なレベルの 60GHz 帯ビームフォーミングアンテナの試作・開発に成功

90 度ステップ位相制御による 8 素子ダブルスロットアレイアンテナ(特許申請中)の研究を結進め、13 種の位相組合せを使用すると、利得変動 1dB 以下でビーム走査角 66 度が得られることを明確にし、試作・評価の結果、動作帯域 6GHz、最大利得 15dBi と実用可能であることを明らかにした。

2) 実用可能なレベルに近い 60 GHz 電力増幅器及び移相器の試作・開発に成功

“カスコード回路＋B 級動作ソース接地回路”構造の 60GHz 小電力 CMOSRF アンプの研究を進め、約 20%(従来比約 2 倍)の電力付加効率を実現が可能である見通しを得た。また、60GHz 帯で動作する”スイッチと遅延線で構成した移相器”を検討し、低消費電力移相器実現の見通しを得た。

3) 屋内通信の通信断確率を従来の 1/10 以下に低減する技術を開発

意図的な反射体の設置とこれからの反射波を用いて通信する方式を提案し、この通信断確率改善効果の一般化の研究を進め、通信断確率を従来の 1/10 以下に低減可能であることを明らかにした。

4) ワイヤレス・ハーネスシステムが実用化が可能であることを実証

ゴムホースを金属コーテングし、無線信号を伝送するワイヤレス・ハーネスシステムを提案し、ミリ波を中心に伝送特性の研究を進め、低損失で高信頼な通信が実現可能であることを実証した。

5) ミリ波 IEEE 標準化に貢献

IEEE802 国際標準規格化会合で技術提案を行い、ミリ波のチャネルモデル開発(IEEE802.11ad)、及び IEEE802.11ad と IEEE802.15.3c との干渉回避技術構築等に貢献した。

＜職員名＞

教　授　加藤　修三
准教授　中瀬　博之
助　教　沢田　浩和
技術職員　吉宮　繁、技術補佐員　庄子友佳子、相澤　なお実

＜プロフィール＞

加藤　修三　研究開発, 製造, 品質保証, 国際標準化, 製品開発, マーケティング、販売, 人材の採用, 経理, 日本及び米国にまたがる技術開発センタ, 会社の設立から経営と幅広いクロス・カルチヤラルマネジメントで数多くの成功体験を有するマネージャかつ研究・技術者。**主な技術開発ハイライト: A. 二つの異なる分野の技術をボトムから世界トップレベルへ立ち上げ: (i)** 衛星 TDMA 通信技術(世界初の汎用的に適用可能な ASIC の開発による巨大システムの LSI 化に成功(1986 年)), **(ii) PHS ベースバンド技術**(6 dB 受信感度の高い PHS 用ベースバンドチップの開発, 世界最小電力の ADPCM Codec の開発、 実用 LSI としては世界初の 2 V 動作 CMOS SOC による最少消費電力 ASIC の実現(1994 年時)), **B. デジタル携帯電話**(IS-136(米国)), PHS 用コア ASIC の開発から携帯電話・PHS の製造・販売まで、**C.** 世界で最も進んだ TDMA **衛星通信システムを** 3 世代にわたり, システム・装置設計を行い開発、導入, **D. 現在まで 39 品種の ASIC をリワーク無しで開発, E.ミリ波通信方式の研究開発及び国際標準化**活動をリードし(2005 年以降)、”日本機関が最初から最後まで主体となり完了させた初めての IEEE 標準化”を達成(2009 年 9 月), 1977 年 3 月　東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了(工博)、発表論分 200 件、取得特許 80 件以上 (内 1 件は米国 DOD 標準となる(1998)), IEEE および電子情報通信学会フエロー。

中瀬博之　1995 年 3 月東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程 修了。1995 年日本電信電話株式会社ワイヤレスシステム研究所入社。1999 年東北大学電気通信研究所助手。2007 年同助教授。2009 年同准教授(現職)。CDMA 技術、超高速ミリ波システムなど、無線通信技術に従事。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] M. A. Rahmen, C. S. Sum, R. Funada, T. Baykas, J. Wang, S. Sasaki, H Harada, and S. Kato, “Error Rate Analysis of Band-Limited BBPSK with Nakagami/Nakagami ACI Considering Nonlinear Amplifier and Diversity”, IEEE VT, Vol. 59, No.3, pp. 1523 – 1529, March 2010
[2] I Toyoda, M Ando, K Iigusa, H Sawada, T Seki, S Nishi, S Kitazawa, A Miura, Y Fujita, H Uchimura, Y Hirachi, “Mathematical Antenna Model with a Rotationally Symmetric Beam for System Design of Wireless Personal Area Networks, ”IEICE, J93-B, no.5, pp.781-790, May 2010
[3] C W Pyo, H Harada, S Kato, “Numerical Throughput Analysis on Channel Interference in IEEE 802.15.3c WPAN Based on Hybrid Multiple Access of CSMA/CA-TDMA,”IEICE Trans. Fundamentals, E93-B, no.6, pp.1502-1514, June 2010
[4] C W Pyo, H Harada, S Kato, “Throughput Comparison of Hybrid Slotted CSMA/CA-TDMA and Slotted CSMA/CA in IEEE 802.15.3c WPAN,”IEICE Trans. Fundamentals, E93-A, no.8, pp.1531-1543, Aug.2010
[5] Z Lan, C S Sum, J Wang, H Harada, S Kato, “Prioritized Aggregation for Compressed Video Streaming on mmWave WPAN Systems”, IEICE Trans. Fundamentals, E93-A, no.12, pp.2704-2707, Dec.2010

3．4　システム･ソフトウェア研究部門の目標と成果

システム･ソフトウェア研究部門は「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかもリアルタイムでコミュニケーションできるユビキタス環境の構築を目的としている。そこで本部門は、通信とコンピュータを融合した高度なシステム・ソフトウェア・コンテンツに関して、高信頼・高機能ソフトウェアの研究を行うソフトウェア構成研究室、新しいソフトウェアの基礎理論の研究を行うコンピューティング情報理論研究室、共生コンピューティングの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究室、インタラクティブコンテンツを実現するための技術の研究を行う情報コンテンツ研究室の４基幹研究室と情報社会構造研究室（客員）から構成される。以下、基幹研究室における 2010 年度の研究活動成果の概要を述べる。

（１）ソフトウェア構成研究室

高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の確立、さらに基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指し、理論と実践の両面から研究を行ってきた。基礎理論の研究では、問題の自明な仕様記述から、効率の良いアルゴリムを用いたプログラムを自動的に導出する手法の研究を行い、既存手法では扱うことのできなかったグラフ上の最適経路問題を扱うシステムやそのHaskellを用いた実現を与えた。また、これらの枠組みが近似アルゴリズムの導出にも自然に拡張できることを示した。実践的側面では、本研究分野で推進している次世代高信頼プログラミング言語SML#の開発を進め、新しいごみ集め方式などの実装を行った。

（２）コンピューティング情報理論研究室

定理自動証明手法にもとづくプログラム変換の検証を目的として、変換パターンをもちいたプログラム自動変換の研究を進めた。自然帰納的定理の概念を与えることにより、高階プログラムに変換パターンを適用するための十分条件を明らかにした。近年、多くの停止性の自動検証器が提案されているが、合流性の自動検証器はほとんど知られていない。そこで、いくつかの分解統合手法にもとづいて、項書き換えシステムの合流性検証器 ACP の開発を進めた。また、リダクション保存完備化手続きをもちいて、合流性自動証明の新しい手法を実現した。

（３）コミュニケーションネットワーク研究室

発展型エージェントシステムの実現基盤となるユビキタス情報環境の自律的監視機構の試作・評価を行った。また、エージェント指向ネットワーク管理技術の研究として、能動的情報資源を適用したネットワーク管理知識利用機構のプロトタイプシステムを試作し、ネットワーク障害検出タスクに対する状況適応的な動作を検証した。一方、マルチエージェントの応用研究では、知識型電力制御方式を適用したマルチエージェント型マイクログリッドのプロトタイプシステム、及び、能動的情報資源に基づく利用者指向情報検索の拡張機能などの試作と実験により、その有効性を実証した。

（４）情報コンテンツ研究室

人との相互作用によって新たな価値を創造するインタラクティブなコンテンツに関して、それらを実現するさまざまな研究と開発に取り組んだ。3 次元実物体を遠隔地に伝送して複数人でインタラクティブに観察できる立体ディスプレイや、テーブル型ディスプレイ上で複数人が協調作業を進めるための装置を提案した。また、さまざまな情報コンテンツを効率よく正確に利用するための新しいインタフェースの研究を進めた。さらに、3 次元環境をインタラクティブにウォークスルーする際のカメラの移動を自動生成するアルゴリズムを考案し、ビデオカメラで撮影した実写映像を活用して新しいインタラクティブなコンテンツを創り出すための研究を進めた。

ソフトウエア構成研究室

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装

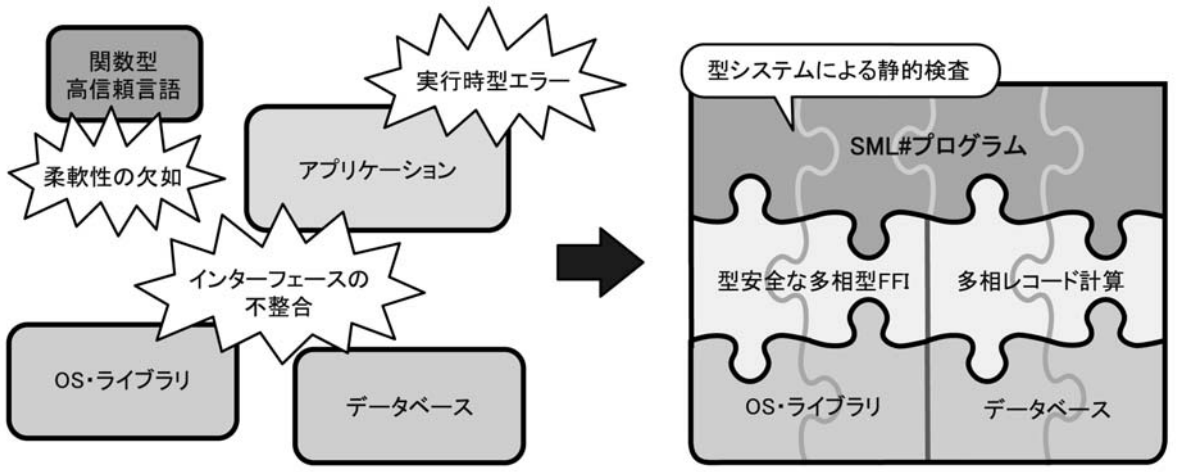


図１：SML#による高信頼言語と既存言語を統合した次世代プログラミング環境の実現

ソフトウェア構成研究分野　教　授　大堀 淳

＜研究室の目標＞

今実現しつつある高度情報化社会が，従来通りの信頼性と安全性を確保しながら発展していくためには，高信頼ソフトを効率よく構築する技術の確立が必須である．高信頼プログラミング言語の開発は，その中核をなす重要な課題である．そこで，当研究室では，高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の研究，さらに，基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指している．具体的には，これまでに我々の基礎研究によって得られたレコード多相性などの先端機能を装備した次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進めるとともに，より堅牢で信頼性の高いソフトウェア構築原理の確立を目指し，コンパイルの論理学的基礎の確立，低レベルコードの検証理論の構築，高信頼コンポーネントフレームワークのための型理論の構築などの基礎研究を進めている．

＜2010 年度の主な成果＞

１．　SML#コンパイラの開発

SML#は，当研究室で設計・開発を推進している高信頼プログラミング言語であり，以下の特徴を持つ．

(1)　多相型レコード演算やランク１多相性等の先端機能を初めて実現
(2)　C などの既存言語やデータベースなどのシステムとの高い相互運用性
(3)　Standard ML と上位互換性を持つ

これらの特長およびSML#コンパイラに含まれる諸機能は，我々の基礎研究成果によって可能となった最先端のものと評価されている．本年度は，(1) Linux, Windows, Mac OS X に対応した x86 ネイティブコード生成機能，(2) オブジェクトを移動させない高効率なビットマップマーキングごみ集め方式，(3) 多相レコード計算を応用した軽量な第一級オーバーロード方式，(4) ML の多相型型システムと SQL データベースとをシームレスに統合する言語拡張などを新たに開発・実装した．また，マルチスレッド対応に向けたランタイムシステムの検討・試作を行った．SML#コンパイラはオープンソースソフトウェアとして公開されており，当研究室の Web サイトからダウンロードすることができる．

２． 最適化問題の解法のプログラム変換による導出

最適化問題は理論と実用の両面から重要であり，深い研究が続けられている．我々は，最適化問題に関する専門知識を持たないプログラマが利用できるようにすることを目指し，問題の自明な仕様記述から，効率の良いアルゴリムを用いたプログラムを自動的に導出する手法の研究を行っている．本年度には，既存手法では扱うことのできなかったグラフ上の最適経路問題を扱うシステムを提案し，さらに広く用いられているプログラミング言語である Haskell のライブラリとしてその実現を与えた．このシステムが導出するプログラムは手実装によるものに比べても遜色ない効率で動作する．また，理論的な見地からは，これらの枠組みが近似アルゴリズムの導出にも自然に拡張できることを示した．これらの成果により，より広い範囲の最適化問題の解法がより容易にプログラムとして得られるようになった．

＜職員名＞

教　授　大堀 淳（1995 年より）
助　教　上野 雄大，森畑 明昌
秘　書　寒河江 香子

＜プロフィール＞

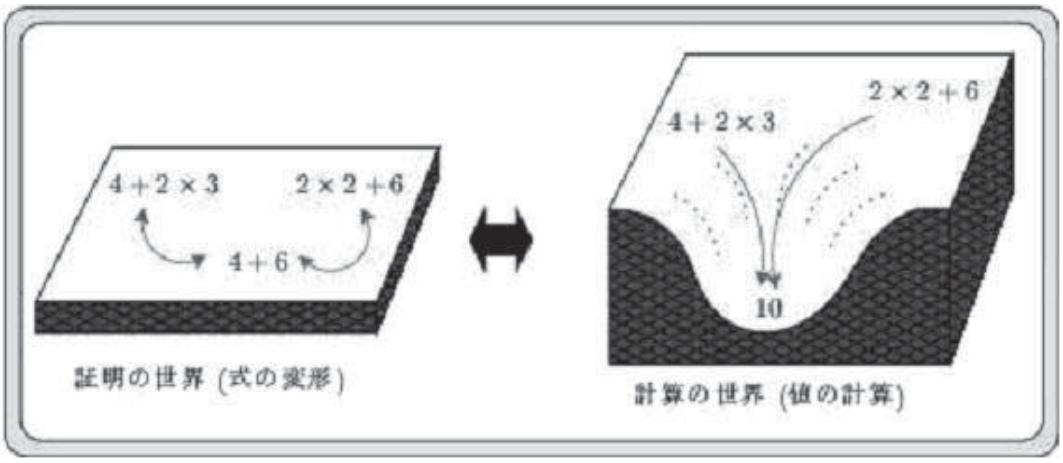
大堀 淳　１９５７年生．１９８１年東京大学文学部哲学科卒業．同年沖電気工業（株）入社．１９８９年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了．Ｐｈ．Ｄ．その後，英国王立協会特別研究員（グラスゴー大学），沖電気工業（株）関西総合研究所特別研究室長，京都大学数理解析研究所助教授，北陸先端科学技術大学院大学教授を経て，２００５年４月より東北大学電気通信研究所教授．プログラミング言語およびデータベースの基礎研究に従事．１９９６年第１０回日本ＩＢＭ科学賞受賞．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] 上野雄大, 大堀 淳，SML#の外部関数インターフェース,日本ソフトウェア科学会論文誌「コンピュータソフトウェア」, Vol. 27, No. 2, pp. 142-168, 2010.
[2] 森畑明昌, 松崎公紀, 武市正人: 領域限定言語に基づく最適経路問合せ. 情報処理学会論文誌 プログラミング, Vol. 4, No. 2, pp. 1-18, 2011.
[3] Akimasa Morihata: A Short Cut to Optimal Sequences. New Generation Computing, Vol. 29, No. 1, pp. 31-59, 2011.
[4] Shin-Cheng Mu, Yu-Han Lyu, Akimasa Morihata: Constructing Datatype-Generic Fully Polynomial-Time Approximation Schemes Using Generalised Thinning. In: Proceedings of ACM SIGPLAN 6th Workshop on Generic Programming 2010, pp. 97-108, ACM, 2010.
[5] Akimasa Morihata, Kiminori Matsuzaki: Automatic Parallelization of Recursive Functions using Quantifier Elimination. In: FLOPS 2010: LNCS, vol. 6009, pp. 321-336, Springer, 2010.

コンピューティング情報理論研究室

計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理



コンピュータが扱う多くの問題では『証明の世界』と『計算の世界』の間に自然な結び付きがあります。この結び付きをうまく用いることによって、専門知識のない人でも簡単に利用できる自動証明システムやプログラミングシステムが実現できます。

コンピューティング情報理論研究分野　　教　授　　外山　芳人
コンピューティング論理システム研究分野　　准教授　　青戸　等人

＜研究室の目標＞

本研究室では、証明と計算を融合した新しいソフトウェアの構成原理について研究している。ソフトウェアの形式的開発や検証では、ソフトウェアの効率のみでなく、その論理的な正当性も問題となる。書き換えシステムを基礎とした計算・証明モデルは、証明の世界と計算の世界を統一的な枠組みで取り扱えるため、新しい構成原理に基づくソフトウェアの実現が可能である。我々は、書き換えシステムに基づく関数型言語を対象に、与えられたプログラムから効率的なプログラムへの自動変換、仕様からのプログラム自動合成などの基礎研究を行っている。さらに高階書き換えシステム、プログラムの帰納的性質の自動証明法、関数・論理型言語と定理自動証明システムの融合など、書き換えシステムに基づく計算・証明パラダイムの理論的および実験的研究を進めている。

研究テーマ

（1） 書き換えシステムの基礎理論
（2） プログラム検証・変換・合成
（3） 関数・論理融合型言語
（4） 定理自動証明システム

＜2010 年度の主な成果＞

1. 合流性自動判定法の研究

近年多くの停止性自動検証器が提案されているが合流性についてはあまり知られていない。そこで、現在知られている複数の合流性判定方法を実装するとともに、これらの判定条件が直接適用できない複雑な項書き換えシステムに対しては、さまざまな分解手法を用いて合流性判定を行う合流性自

動判定器の開発を進めた。さらに、簡約関係を保存する簡約保存完備化を用いて，より強力な合流性検証を実現した.

2. 変換パターンに基づくプログラム変換

変換パターンに基づくプログラム変換法を，高階プログラムに適用するための帰納的定理について研究を行った．高階帰納的定理の概念をより扱いやすいものとするために，自然帰納的定理の概念を与え，高階帰納的定理との関係を示した．高階プログラムに変換パターンに基づくプログラム変換法を適用するのに必要な拡張性をもつための自然帰納的定理の十分条件を示した.

3. 計算体系の研究

部分直観主義論理に対するシーケント計算の体系を述語論理へ拡張することによって、ヒルベルト流の公理系の完全性を証明した。部分直観主義論理の述語論理に対する公理系を与えることは未解決問題となっていたが、完全な公理系を与えたのは本研究が初めてである。

＜職員名＞

教　授：外山　芳人（2000 年 4 月より）
准教授：青戸　等人（2003 年 1 月より）
助　教：菊池健太郎（2004 年 10 月より）

＜プロフィール＞

外山　芳仁　1952 年生。1977 年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所。1991 年 NTT コミュニケーション科学研究所　主幹研究員。1993 年北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科　教授。2000 年より東北大学　電気通信研究所　教授。この間、プログラム理論、定理自動証明の基礎研究に従事。1997 年第 11 回日本 IBM 科学賞受賞。

青戸　等人　1969 年生。1997 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年、同大学情報科学研究科助手、1998 年群馬大学工学部助手、2003 年東北大学電気通信研究所講師。2004 年同助教授。2007 年より同准教授。博士(情報科学)。書き換えシステム、定理自動証明、ソフトウェア基礎の研究に従事。

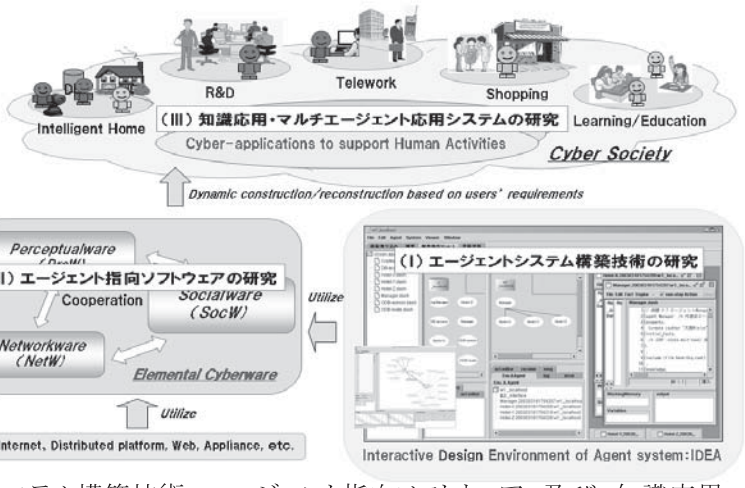
＜2010 年度の主な発表論文等＞

(1) Takahito Aoto,
Automated confluence proof by decreasing diagrams based on rule-labelling, In Proceedings of the 21st International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2010), Edingburgh, UK, LIPIcs, Vol.6, pp.7-16, 2010.

(2) Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama,
Program transformation templates for tupling based on term rewriting, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E93-D, No.5, pp.963-973,
2010.

コミュニケーションネットワーク研究室

人間とシステムの協働とコミュニケーションの支援



エージェントシステム構築技術、エージェント指向ソフトウェア、及び、知識応用・エージェント応用システムを中核とした研究開発を推進し、人間とシステムの協働／コミュニケーションの支援を目指す。

インテリジェントコミュニケーション研究分野　教授　木下 哲男
共生コミュニケーションシステム研究分野　准教授　菅沼 拓夫

＜研究室の目標＞

社会の隅々まで浸透してきた様々なネットワークシステム、及び、これらをもとに構築される各種システムは、人々の日常生活や仕事を支援し、新しいライフスタイルや社会を生み出す上で重要な役割を担うシステムとして期待されている。本研究室では、人々と互いに協力・連携しながら、人々によるコミュニケーションや創造的活動を能動的に支援する知的システムの実現に向けて、基礎から応用に至る研究に取り組む。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　発展型エージェントシステムとその実装基盤

マルチエージェント組織の発展的動作制御方式のシステム基盤としてユビキタス情報環境の監視機構を試作し動作検証実験を行った。更に、リポジトリ型マルチエージェントフレームワークにおける協調プロトコル設計支援環境の設計・試作を行い、その有効性を確認した。

２．　エージェント指向ネットワーク管理システム

能動的情報資源によるネットワーク管理知識の自律的適用機構を設計し、エージェント指向ネットワーク管理システムのプロトタイプを用いた実験により、ネットワーク障害のイベントに対する能動的管理動作の妥当性を検証した。

３．　マルチエージェント応用システム

マルチエージェント型マイクログリッドの実現に向けて、市場メカニズムを導入した知識型電力制御方式を提案し、同方式を適用した実験システムの開発とシミュレーション実験を行い、提案方式の有効

性を検証した。更に、知識型コミュニケーションサービスに関する応用として、能動的情報資源に基づく利用者指向情報検索の拡張機能、３次元活動環境等の試作と評価実験を行った。

＜職員名＞

教　授　木下 哲男（2010 年より）
准教授　菅沼 拓夫（2010 年 9 月まで）
事務補佐員　今野 亜未

＜プロフィール＞

木下 哲男　1979 年 3 月 東北大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。1979 年 4 月 沖電気工業（株）入社。1996 年 8 月 東北大学電気通信研究所助教授。2001 年 4 月 同大情報シナジーセンター教授。2010 年 4 月 電気通信研究所教授。現在に至る。工博（1993 年 3 月・東北大学）。知識工学、エージェント工学、知識応用システム・エージェント応用システムなどの研究開発に従事。情報処理学会平成元年度研究賞 (1989 年)および平成 8 年度論文賞 (1997 年)、電子情報通信学会平成 13 年度業績賞 (2001 年)、東北総合通信局長表彰 (2004 年)、INTELEC2009 Outstanding Paper Award (2009 年)など受賞。電子情報通信学会および情報処理学会フェロー。

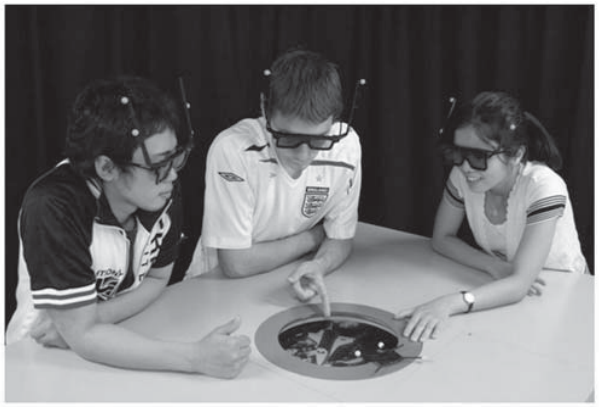
菅沼 拓夫　1997 年 3 月 千葉工業大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。1997 年 4 月 東北大学電気通信研究所助手。2003 年 2 月 同助教授。2007 年 4 月 同准教授。2010 年 10 月 同大サイバーサイエンスセンター教授。やわらかいネットワーク、共生コンピューティングの研究に従事。情報処理学会第 54 回全国大会奨励賞受賞(1997 年)、UIC-07 Outstanding Paper Award (2007 年)など受賞。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] Sameera Abar, Tetsuo Kinoshita, “A Knowledge-based Strategy for the Automated Support to Network Management Tasks”, IEICE Trans. Info. Syst, Vol.E93-D, No4, pp.774-788, 2010.4.
[2] Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, “A Multiagent System for Microgrid Operation in the Grid-interconnected Mode”, J. Electrical Engineering & Technologys, Vol.5, No.2, pp.246-254, 2010.6.
[3] Taishi Ito, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, “Design of Adaptive Communication Mechanism for Ubiquitous Multiagent System”, Journal of Information Processing, Vol.18, No.18, pp.175-189, IPSJ, 2010.6.
[4] Akiko Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "A behavioral characteristics model for a flexible distributed system", International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol.6, No.2, pp.192–213, Emerald Group Publishing Limited, 2010.7.
[5] Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, Yujin Lim, Tai-Hoon Kim, "A Bankruptcy Problem Approach to Load-shedding in Multiagent-based Microgrid Operation", Sensors, Vol.10, No.10, pp.8888-8898, MDPI Publishing, 2010.9.
[6] Akinori Takahashi, Ryuji Igarashi, Hiroshi Ueda, Yukio Iwaya, Tetsuo Kinoshita, “Network Anomaly Detection Based on R/S Pox Diagram”, lnt. J. Soc. Mater. Eng. Res., Vol.17, No.2, pp.186-192, 2010.9.
[7] Akihiko Sato, Toshiaki Osada, Toru Abe, Gen Kitagata, Norio Shiratori, Tetsuo Kinoshita, “A Classifiable Sub-Flow Selection Method for Traffic Classification in Mobile IP Network”, Journal of Information Processing Systems, Vol.6, No.3, pp.307-322, KIPS, 2010.9.
[8] Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, Myong-Chul Kim, "A Multiagent System for Autonomous Operation of Islanded Microgrids Based on a Power Market Environment". Energies, vol.3, pp.1972-1990, 2010.12.
[9] Hak-Man Kim, Wenpen Wei, Tetsuo Kinoshita, “A New Modified CNP for Autonomous Microgrid Operation based on Multiagent System”, J. Elec. Eng. Tech., Vol.6, No.1, pp139-146, 2011.1.
[10] Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, Yujin Lim, “Talmudic Approach to Load Shedding of Islanded Microgrid Operation Based on Multiagent System”, J. Elec. Eng. Tech., Vol.6, No.2, pp284-292, 2011.3.
[11] Sameera Abar, Tetsuo Kinoshita, “Design and Implementation of a Reusable Knowledge Model for Supporting the Network Management Functions”, Interdisciplinary Information Sciences, Vol.17, No1, pp.19-37, 2011.3.

情報コンテンツ研究室

インタラクティブコンテンツを実現する技術の研究開発



複数人共有型立体ディスプレイの利用例



インタラクティブ映像コンテンツの利用例

インタラクティブコンテンツ研究分野　教　授　北村 喜文

＜研究室の目標＞

優れたコンテンツは人の生活を豊かにする力持っている．産業，教育，文化，医療，娯楽など多様な方面で今後ますますその力が発揮され，また，人と人とのコミュニケーションといった分野でも，その利用への期待が高まっている．当研究室では，映像，音楽，ゲームなど，従来型のコンテンツにはなかった新たな魅力を持つコンテンツとして，人との相互作用によって新たな価値を創造するインタラクティブなコンテンツに関して，それらを実現するさまざまな研究と開発に取り組んでいる．

＜2010 年度の主な成果＞

１．　新しいディスプレイの提案

3 次元実物体を遠隔地に伝送して複数人でインタラクティブに観察できる立体ディスプレイを提案し[9]，さらに，テーブル型ディスプレイ上で複数人が協調作業を進めるための装置を提案した[1]．また，触覚を記録・伝送するための傘型デバイスも提案した[4]．

２．　新しいインタフェースの提案

さまざまな情報コンテンツを効率よく正確に利用するための新しいインタフェースの研究を進めた．主に，通常のディスプレイ上のグラフィカルユーザインタフェースに関するもの[3][8]と，壁面型の大型ディスプレイに関して研究を行った[5][6][7]．

３．　インタラクティブな映像コンテンツ

3 次元環境をインタラクティブにウォークスルーする際のカメラの移動を自動生成するアルゴリズムを考案し[2]，ビデオカメラで撮影した実写映像やコンピュータで生成したアニメーションなどを活用して，新しいインタラクティブなコンテンツを創り出すための研究を進めた[10]．

＜職員名＞

教　授　北村 喜文 （2010 年より）

＜プロフィール＞

北村 喜文　1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年キヤノン株式会社情報システム研究所，1992 年 ATR 通信システム研究所，1997 年大阪大学大学院工学研究科助教授，2002 年同大学大学院情報科学研究科助教授／准教授．2010 年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る．博士（工学）．1997 年電子情報通信学会論文賞，2006 年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008 年情報処理学会インタラクション ベストペーパー賞などを受賞．3 次元ユーザインタフェース，バーチャルリアリティ，エンタテインメントコンピューティング，インタラクティブコンテンツなどの研究に従事．日本バーチャルリアリティ学会フェロー．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] 山口徳郎, Sriram Subramanian, 北村喜文, 大坊郁夫, 岸野文郎: テーブル上における競争の側面を持つ協調作業, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No. 2, pp. 177-186, 2010.

[2] Maya Ozaki, Like Gobeawan, Shinya Kitaoka, Hirofumi Hamazaki, Yoshifumi Kitamura, Robert W. Lindeman: Camera Movement for Chasing a Subject with Unknown Behavior based on Real-time Viewpoint Goodness Evaluation, Visual Computer Vol. 26, No. 6-8, pp. 629-638, 2010.

[3] 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 朝日元生, 北村喜文, 岸野文郎: 地図ナビゲーションにおけるパン操作とズーム/チルト連動を用いたビューポート制御手法の提案，電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 11, pp. 2454−2465, 2010.

[4] 藤田和之, 伊藤雄一，吉田愛，尾崎麻耶，菊川哲也，深澤遼，高嶋和毅, 北村喜文，岸野文郎: アソブレラ: 振動を記録・再生可能な傘型アンビエントインタフェース，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 3, pp. 397-405, 2010.

[5] Garth Shoemaker, Takayuki Tsukitani, Yoshifumi Kitamura, Kellogg S. Booth: Whole Body Large Wall Display Interfaces, Proceedings of the 28th of the International Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (ACM SIGCHI), pp. 4809-4812, Apr. 2010.

[6] Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Takayuki Tsukitani, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura, Fumio Kishino: Anchored Navigation: Coupling Panning Operation with Zooming and Tilting Based on the Anchor Point on a Map, Proceedings of the Graphics Interface, pp. 233-240, May. 2010

[7] Takayuki Tsukitani, Kazuki Takashima, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura and Fumio Kishino: Kinematics Analysis of Cursor Trajectory in a Pointing Task with Mouse in a Large Display, Proceedings of Asia-Pacific Conference on Computer-Human Interaction (APCHI), pp. 250-256, Aug. 2010.

[8] Garth Shoemaker, Takayuki Tsukitani, Yoshifumi Kitamura and Kellogg S. Booth: Body-centric Interaction Technique for Very Large Wall Displays, Proceedings of Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordCHI), pp. 463-472, Oct. 2010.

[9] Yoshifumi Kitamura, Tetsuya Kikukawa, Satoshi Mieda, Yutaka Kunita, Megumi Isogai, Hideaki Kimata: Image-based 3D Telecopier: A System for Sharing a 3D Object by Multiple Groups of People at Remote Locations, Proceedings of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST), pp. 51-54, Nov. 2010.

[10] Rong Rong, Yoshifumi Kitamura, Shinya Kitaoka, Hirokazu Kato, Keisuke Kishi, Kei Nakashima, Kazuhiko Yamazaki, Sadatoshi Horiuchi, Tatsuro Shioda, Kazuto Kamakura, Shinya Matsuyama: Osaka Developing Story: An Application of Video Agents, Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACM ACE), Nov. 2010.

情報社会構造研究室

異分野融合による適応的歩行の研究

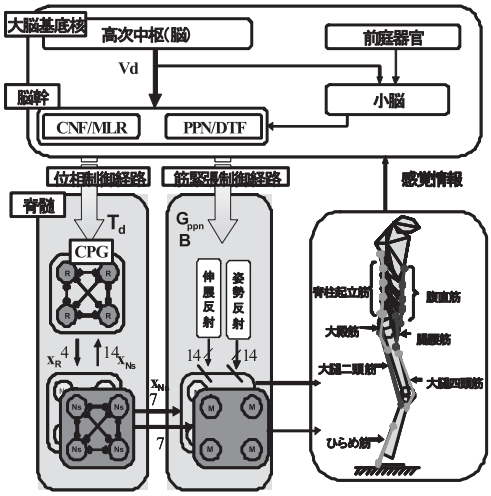


図１歩行システムの概

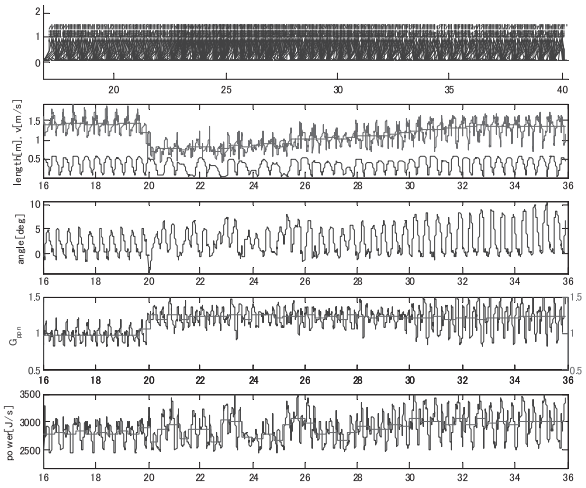


図２　歩行中に背中に20kgを懸けた時のシミュレーション

＜研究室の目標＞

高齢化社会の進行に伴い運動機能や高次脳機能の低下による認知症・変性疾患・運動障害を持つ患者数の増加や環境や社会への適応障害の増加がある．適応障害を克服するには「損なわれた運動機能や高次脳機能を回復させ，社会や環境に適応できるようにするための “機能再建医療”」が必要となる．再建医療は失われた運動機能の再学習なので，患者が能動的に運動を行えるように，運動学習の基本的メカニズムを取り入れた新しいリハビリテーションの方法を創るために，いくつかの学問を融合して，新しい学問分野を創ることが目指す.

＜2010 年度の主な成果＞

「生きていること」を明らかにしようとすると，人間を含めた生物が覚醒した状態で計測する必要がある．脳ー身体ー環境の相互作用によって適応的な運動機能が発現するのであるから，三者を統合的に研究する必要がある．しかしながら，それを行うには大きな課題が存在する．医学的には，実環境で発現するさまざまな疾患を生理学的，臨床学的に分類することが求められるが，それは一筋縄ではいかない．脳は非線形の複雑系なので，必ずしも原因と結果が一対一対応をしない．これまでの様に病巣を特定すれば，それで治療方法が特定できるほど単純ではないのである．また，脳の機能が局在していないことから来る複雑性がある．神経機能の低下によって，脳の複数の部位が関与して現れる疾患の場合，原因を一つに決めることはできない．このことはこれまでの科学がやってきた要素還

元論とは大きく異なる点である．これは身体機能障害にも当てはまる．身体機能障害も身体のどの部分に原因があるとは言えても，それによって疾患がすべて特定されるわけではない．神経機能と身体機能の相互作用によって表向き出てくる症状は大きく異なる．これに環境の複雑性が加わるとより複雑になる環境が異なれば適応の仕方も変わる．したがって，脳―身体―環境の相互作用による適応機能と言う場合はこれまでの科学の方法論だけでは十分対応しきれないのである．

このような非線形で複雑な現象である適応障害の解明には，工学の持つ構成論的な方法論が有用な場合が多い．生物の適応機能を解明するために生物学と工学が融合・協力して行っている研究分野を「移動知」と呼んでいる．その中の一つの研究に，非線形の複雑な現象に対して，精度の良いモデルを構成論的に作って解明するという方法論がある，このモデルを用いれば構成する要素に異常があるときにどのような現象が現れるかが分かるためである．つまり，脳―身体―環境の三者の様々な要因が複雑に相互作用して現れる複雑な現象の解明には構成論的に作り上げた精度の良いシミュレータが効果的である．上記の図は生理学的に得られた知見を元に，作ったシミュレータで、これを構成論的に作るには，現象を説明する仮設を創造し，演繹を使って仮設を説明し，帰納によって現象と仮設の整合性を検証した．もし整合しないようであれば新しい仮設を作るところから繰り返す．このようにして事象の必要十分条件が検証できたシミュレータを用いれば複雑な現象でも原因と現象が結びつくことになるし，これまで知られていない現象に対しても予測性を持つことになる．この方法論の持つ意義は現象の法則性の発見につながる基礎科学的分野だけではなく，ロボットなどの人工物の設計原理の発見，あるいは医療・医学への応用にあり，事実これらの分野の研究者から多くの共同研究の申し入れがある．

＜職員名＞

客員教授　　矢野　雅文　（2010 年より）

＜教授のプロフィール＞

福岡県久留米市生まれ，九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学，東京大学助教授等を経て 1992 年 4 月－2010 年 3 月東北大学電気通信研究所教授．2010 年 3 月定年退職後同研究所客員教授．脳－身体の認識や運動制御の情報原理を解明することを目標に研究を進めている．特に脳の情報処理の柔軟性は情報生成能力によるものであると考え，これまでの自他分離の情報処理方式から自他非分離の情報処理，とりわけ脳の仮設生成論理の解明を重点課題としている．工学的には生体システムのような超大自由度系の情報原理を用いて人工の大自由度システムを柔軟に，したたかに制御する工学的方法論の開発を行っている．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

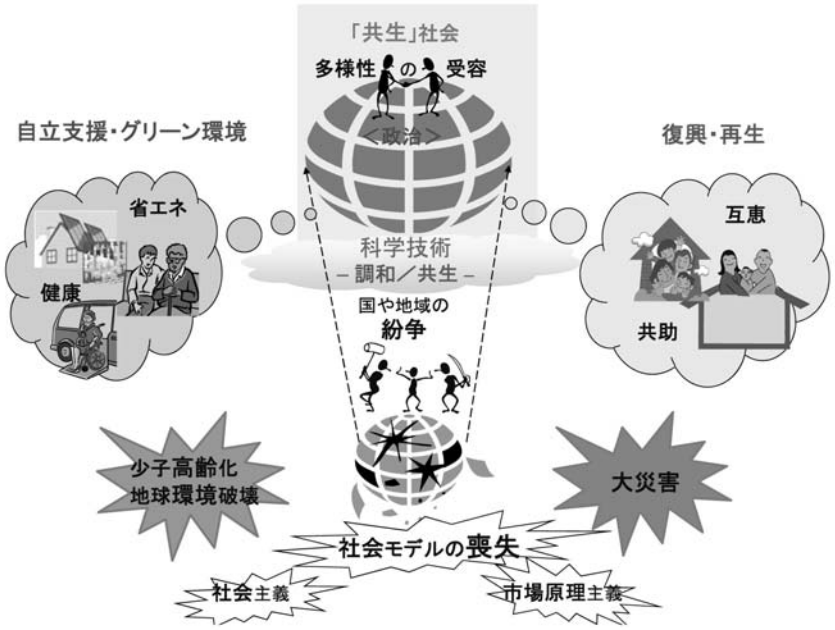
[1] 伊藤 岳大，川上 進，牧野 悌也，矢野 雅文，羽生 貴弘（2011）「曲率円ベース 形態表現のための神経回路網モデル」電子情報通信学会「第 24 回多値論理とその応 用研究会」多値技法 Vol. MVL-11, No. 1, p 73-77 (2011.1.9，仙台)
[2] 矢野雅文，冨田望，牧野悌也（2010）「適応的な歩行運動のシミュレーション」BRAIN and ＮＥＲＶＥ, vol.62, 1173-1181.
[3] Makino Y, Yano M (2010) “Investigating the Underlying Intelligence Mechanisms of the Biological Olfactory System,” /Advances in Artificial Intelligence /, vol. 2010, Article ID 478107.
[4] 矢野雅文(2010)「生体計測技術が拓く異分野融合研究；特集に向けて」計測と制御，vol. 49, 831-832

情報社会構造研究室

人と自然が共生するための災害に強いグリーン ICT

＜研究室の目標＞

21 世紀の科学技術は「地球環境」の変化、「社会構造」の変化といかに向き合うかが問われている。本研究室では、工学的な観点からこれらの変化を吸収し止揚する考え方として「共生」の思想を提唱し、地球の危機の克服と人間/社会のあり方について考究する。具体的には、個と個の調和に価値を置く共生の考え方に基づいて、情報処理パラダイムとその応用に関する以下の研究を推進している。ここで、個とは人、コンピュータ、インターネット、エージェント（ロボット）、情報環境、自然、文化、地域、国などである。



図：復興/再生へ向けた共生型情報社会モデル

研究テーマ

1. 共生コンピューティング：人と情報システムの共生
2. 災害に強いネットワーク・グリーンコンピューティング
3. 健康・見守り支援/スマートホーム/ネットメディア
4. 共生型情報社会モデル

＜2010 年度の主な成果＞人と自然が共生するための ICT システム

(1) 目的: 宮城県栗原市において、生活拠点や行政機能が広域に分散する地域を一体化し、人の暮らしと自然環境が共生する ICT システムを構築するための地域実証。

(2) 推進体制: 代表機関［東北大学］、　共同推進機関［NTT 東日本、NTT ファシリティーズ、日立東日本ソリューションズ、三菱総研、栗原市］

(3) 期間・予算: 平成 22 年度・257,000,000 円（総務省）

(4) 研究開発テーマ：1. 生活支援システム、(a)ハイビジョンテレビ(HDTV)会議システム、(b)パーク・アンド・ライド促進システム、2. 行政アクセス支援システム、3. ICT システム消費エネルギー監視、4. 建物消費エネルギー監視、5. 太陽光発電エネルギー監視

(5) 実証実験: CO2 の削減率(量)を各テーマ毎に示す。実験の条件によって削減率は異

なる。ここでは、代表的な事例を示す。
・テーマ 1-(a)：82 %(本庁での集合会議を TV 会議で置換）、・テーマ 1-(b)：58 %(観光地「いわかがみ平」）、・テーマ 2：削減量 120 kg-CO2、(移動距離 90 km、9 名)、・テーマ 3：61.3 %、(オフィス：デスクトップ 6 台、ノート 1 台)
・テーマ 4：夏季 27 % 、冬季　14.3 % (若柳文化センター)

＜職員名＞

客員教 授： 白鳥 則郎 (2010 年より)
客員准教授：Debasish Chakraborty　産学官連携研究員：高橋秀幸　秘書：守屋佳織

＜教授のプロフィール＞

1946 年宮城県登米市生れ。1977 年東北大学大学院博士課程修了。1984 年東北大学助教授（電気通信研究所)。1990 年東北大学教授 (工学部情報工学科)。1993 年東北大学教授 (電気通信研究所)。1998 年 IEEE Fellow，2000 年情報処理学会フェロー，2002 年電子情報通信学会フェロー。1985 年情報処理学会 25 周年記念論文賞，平成 8 年度情報処理学会論文賞，平成 19 年度情報処理学会功績賞，2001 年度電子情報通信学会業績賞，同学会論文賞，1997 年 IEEE ICOIN-11 Best Paper Award，1998 年 IEEE ICOIN-12 Best Paper Award，2000 年 IEEE ICPADS Best Paper Award，2001 年 IEEE 5-th WMSCI Best Paper Award，2007 年 UIC-07 Outstanding Paper Award，1991 年第 6 回電気通信普及財団賞，2002 年東北総合通信局長表彰，平成 21 年度文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) など。2002 年情報処理学会・副会長，2002 年 IFIP 日本代表，2007 年日本学術会議・連携会員，2009 年情報処理学会・会長。現在，人と IT 環境が共生するための方法論と基盤技術，およびコミュニケーションなどに関する研究に従事。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] Naoki Nakamura, Kazuhide Koide, Takafumi Mayuyama, Debasish Chakraborty, Glenn Mansfield Keeni, Takuo Suganuma, Norio Shiratori,
"An Effective Network Mobility Monitoring Technique with Standardized Protocols, "International Journal of Informatics Society, Vol. 2, No. 1, pp. 32-41. Apr. 2010.
[2] Taishi Ito, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, "Design of Adaptive Communication Mechanism for Ubiquitous Multiagent Systems," IPSJ Journal, Vol. 51, No. 6, pp. 1330 - 1344, June 2010.
[3] Hideyuki Takahashi, Kazuhiro Yamanaka, Satoru Izumi, Yoshikazu Tokairin, Takuo Suganuma, Norio Shiratori, "Gentle supervisory system based on integration of environmental information and social knowledge," International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 6, No. 2, pp. 229 - 247, 2010.
[4] Masahiro Nagao, Kazuhide Koide, Akihiro Satoh, Glenn Mansfie Kenni, and Norio Shiratori, "Sharing Information for Event Analysis over the Wide Internet, "Journal of Communications and Networks, Vol.12, No.4, pp.382-394, August 2010(ISSN 1229-2370)
[5] Akihiro Satoh, Toshiaki Osada, Toru Abe, Gen Kitagata, Norio Shiratori and Tetsuo Kinoshita, "A Classifiable Sub-Flow Selection Method for Traffic Classification in Mobile IP Networks," Journal of Information Processing Systems, Vol.6, No.3, pp.307-322, September 2010(ISSN 1976-913X)
[6] Norio Shiratori, Kazuo Hashimoto, Debasish Chakraborty, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Naoki Nakamura, and Atushi Takeda, "Kurihara Green ICT Project -- Towards Symbiosis between Human's Lifeand Nature,"Journal of Internet Technology(JIT), Vol. 12, No. 1, pp.1-11, 2011.
[7] "移動ネットワーク環境における SNMP を用いた情報収集手法," 中村　直毅，丸山　貴史，菅沼　拓夫，グレンマンスフィールド　キニ，白鳥　則郎，情報処理学会論文誌，Vol.52, No.3, pp.1021-1032, Mar. 2011

３．５　環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門の目標と成果

人間性豊かなコミュニケーションを実現する情報通信技術（ICT）の革新を進め，持続可能なグローバル社会において結実させるためには，ナノ・スピン研究領域や情報デバイス研究領域に関連する電子材料とデバイス技術を基盤とした，人と自然環境にやさしい ICT デバイスおよび機器の創成が必要である。

本研究部門では，これらの基盤技術の研究開発を実施すると共に，急速に変化する産業界のニーズおよび当該分野の研究開発動向について体系的な調査研究を実施することにより，基礎的学理研究を，環境負荷が少ない高度情報デバイスや，人間社会が環境に及ぼす負荷を低減するエレクトロニクス機器へと具現化することを目標としている。以下に、2010 年度の活動概要を報告する。

研究活動

（目標）人間や環境に由来するエネルギー・物質情報を取得するために要する電力を可能な限り低減するため、ナノ材料の活性表面を利用したパッシブセンシング技術を開発、ならびに、それらを使ったセンサーネットワークの可能な構造を検討する。

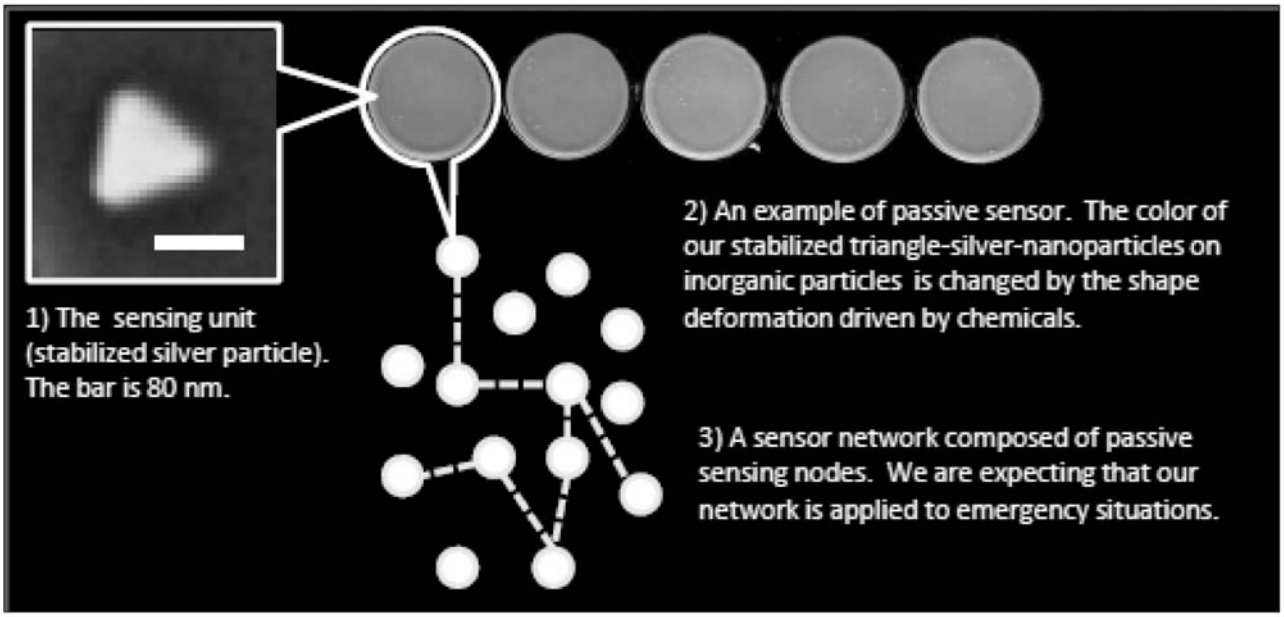
（成果）形状が不安定な平板状銀ナノ粒子の安定性を制御する技術を開発しており、通常ハロゲンイオンに対して不安定になる粒子を、0.15M のハロゲンイオンに対して 90 分以上安定にできた。この安定化技術を応用し、環境に存在する放射線量や化学物質量の変化を粒子形状の変形に反映し、形状依存する光学特性、特にプラズモン吸収波長の変化として環境変化を色に記録する環境適応型デバイスの開発を進めている。

産学連携活動

通研と富士電機グループとの交流会を 10 月 14 日に行った。参加者数は 35 名であった。通研側から、センサへの磁気利用技術、グラフェンの光・電子デバイス応用、プラズモニック結晶ナノアンテナ構造、富士電機側からは、グループ全体の研究開発の概要、環境センシングと MEMS 技術、富士電機におけるグラフェンの研究開発の発表があった。これらの活動により、大学での研究動向と産業界での開発動向の方向性の差異を明確にし、産業界のニーズに応えられるシーズの発掘を促進していく。

環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門

環境適応型高度情報通信工学



環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門　教　授　足立　榮希

＜研究室の目標＞

人間性豊かなコミュニケーションを実現する情報通信技術（ICT）の革新を進め，持続可能なグローバル社会において結実させるためには，ナノ・スピン研究領域や情報デバイス研究領域に関連する電子材料とデバイス技術を基盤とした，人と自然環境にやさしいICTデバイスおよび機器の創成が必要である。本研究部門では，これらの基盤技術の研究開発を実施すると共に，急速に変化する産業界のニーズおよび当該分野の研究開発動向について体系的な調査研究を実施することにより，基礎的学理研究を，環境負荷が少ない高度情報デバイスや，人間社会が環境に及ぼす負荷を低減するエレクトロニクス機器へと具現化することを目標としている。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　研究活動

形状が不安定な平板状銀ナノ粒子の安定性を制御する技術を開発しており、通常ハロゲンイオンに対して不安定になる粒子を、0.15M のハロゲンイオンに対して 90 分以上安定にできた。この安定化技術を応用し、環境に存在する放射線量や化学物質量の変化を粒子形状の変形に反映し、形状依存する光学特性、特にプラズモン吸収波長の変化を環境変化として色に記録する環境適応型デバイスの開発を進めている。

２．　産学連携活動

通研と富士電機グループとの交流会を 10 月 14 日に行った。参加者数は 35 名であった。通研側から、センサへの磁気利用技術、グラフェンの光・電子デバイス応用、プラズモニック結晶ナノアンテナ構造、

富士電機側からは、グループ全体の研究開発の概要、環境センシングと MEMS 技術、富士電機におけるグラフェンの研究開発の発表があった。これらの活動により、大学での研究動向と産業界での開発動向の方向性の差異を明確にし、産業界のニーズに応えられるシーズの発掘を促進していく。

＜職員名＞

教　授　足立　榮希（2010 年より）

＜プロフィール＞

足立 榮希　1989 年 3 月　埼玉大学理学部物理学科卒業。1991 年 3 月　東京工業大学理工学研究科物理学専攻修了　理学修士。1996 年 3 月　博士（学術）（東京大学）。ERATO 研究員、岡崎国立共同研究機構生理学研究所、ロレアル筑波センター、富士電機アドバンストテクノロジー㈱、富士電機ホールディングス㈱を経て、2010 年 5 月　東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。ナノ材料合成、ナノ構造形成、および、それらのデバイス応用技術の研究開発に従事

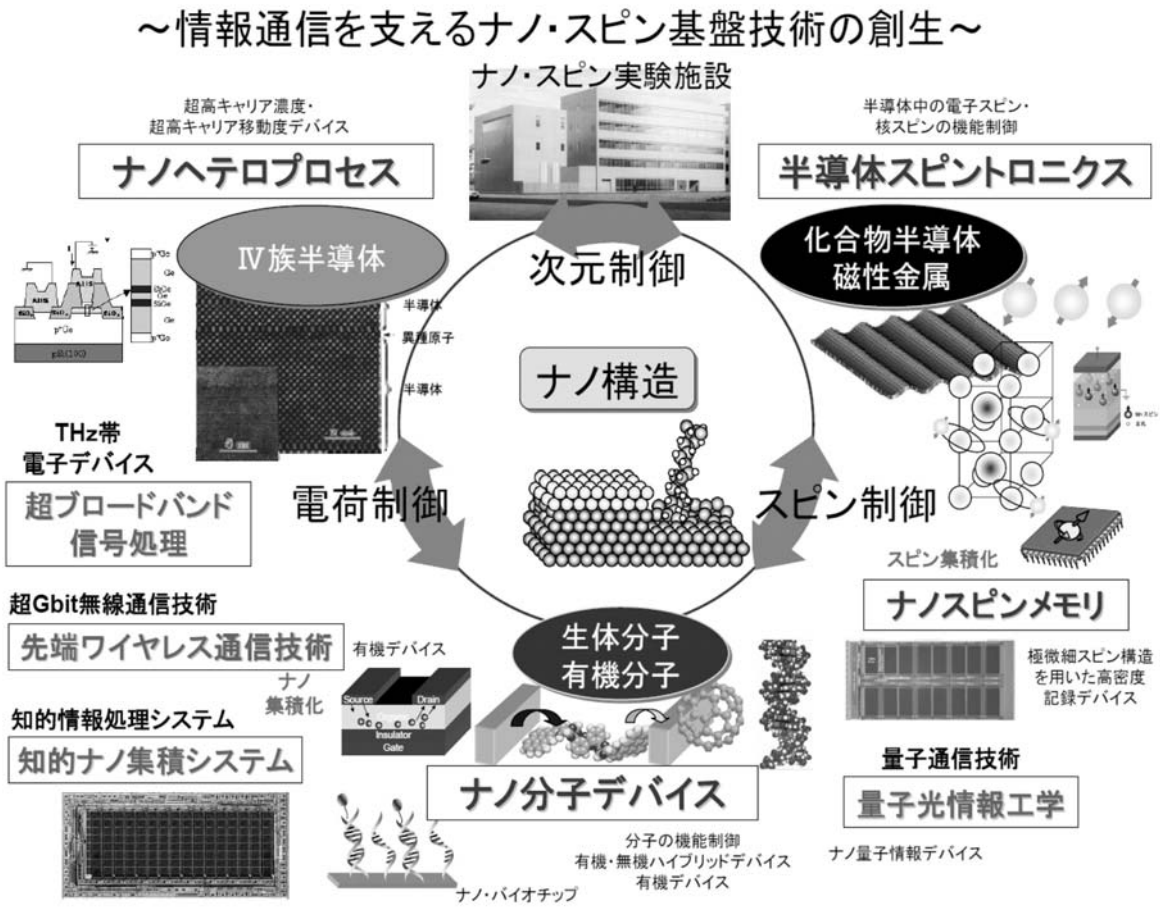
＜2010 年度の主な発表論文等＞

なし

３．６　ナノ・スピン実験施設の目標と成果

「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成１６年４月１日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「ITプログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノヘテロプロセス、半導体スピントロニクス、ナノ分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究室、量子光情報工学研究室、超ブロードバンド信号処理研究室が入居し連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のCOEとなることを目標としている。



以下に、施設研究部と利用研究室の平成22年度の研究成果のハイライトを記す。

ナノヘテロプロセス基盤技術関連

● ナノヘテロプロセス（室田淳一・櫻庭政夫）

IV族半導体ヘテロ構造の歪制御と高キャリア濃度化のための基盤技術構築を目標として研究を進め、以下の成果を得た。（１）歪 $Si_{0.3}Ge_{0.7}$ 上に形成したP原子層表面へのSiキャップ層エピタキシャル成長において、Si成長表面へのP偏析が、無歪の場合に比べて引っ張り歪の場合により顕著になり、ヘテロ界面での固溶限界も下がることを見いだした。（２）無歪 Si(100)上に比べ、引っ張り歪 Si(100)上では、$Si_{0.55}Ge_{0.45}$ 混晶の堆積速度が大きく減少し、圧縮歪 Si(100)上では大きく増加することを明らかにした。また、引っ張り歪Si中では、Si中のB原子の電気的活性度が大きく低下することを見いだした。（３）ナノメートル厚極薄 $Si_{0.42}Ge_{0.58}$ 上へのSiエピタキシャル成長に Si_2H_6 を用いることにより、ヘテロ界面でのラフネス発生やミキシングを効果的に抑制できることを見いだした。そして、ホール共鳴トンネルダイオードの試作に適用することにより、明瞭な室温負性コンダクタンスを得ることに成功した。

● 知的ナノ集積システム（中島康治・佐藤茂雄）

(1) 新概念の疑似粒子運動モデルを用いた神経モデル結合系の解析を進めるとともに、人工ブレインシステム実現を目指した結合神経系の試作ハードウェアの設計・測定を行った。また、高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルのストカスティックモデル化を提案・検討し、その実現可能性を明らかにした。(2) 予め特性が分っているNb/AlOx/Nbジョセフソン接合列を用いてスイッチング電流分布を測定することにより、スイッチング電流分布から接合間結合を求めるための実験手法の確立を図った。静電結合のある接合列と結合のない接合列とでは大きく異なるスイッチング電流分布が得られること、従来理論に比べ量子領域と古典領域のクロスオーバー領域が広がっていることを確認した。(3) 超伝導ディジタル信号処理回路の大規模化を目的とし、8 x 8ビット並列乗算器の設計を行った。最大動作周波数40GHz、消費電力6.33mWでの構成が数値解析により確認され、半導体回路に対する優位性を示された。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用したホップフィールド形ネットワークを構成し、N-Queen問題が解けることを数値解析により確認した。

半導体スピントロニクス基盤技術関連

● 半導体スピントロニクス・ナノスピンメモリ（大野英男・大野裕三・松倉文礼・池田正二）

電子の電荷とスピンの自由度を利用するスピントロニクスの基盤技術の確立とその工学的応用を目指して研究を行い、以下の成果を得た。(1) 強磁性半導体(Ga,Mn)As において電界印加によるナノドット・アンサンブルの形成に成功した。(2) 非磁性半導体量子構造における核四重極相互作用の大きさとスピン位相緩和時間との関係を解明した。(3) 磁性薄膜 CoFeB の MgO との界面磁気異方性に起因する垂直磁気異方性を見出し、その異方性の大きさが電界により制御可能であることを示した。(4) 垂直磁化 CoFeB/MgO MTJ において、接合サイズ 40nm の MTJ で 350°C 熱処理後に TMR 比 ＞100%、書込み電流 I_{c0} < 50μA、熱安定性 E/k_BT ~ 40 が得られることを示した。(5) Pd を薄層化した垂直磁気異方性 CoFe/Pd 多層膜と MgO 障壁との間に CoFeB を挿入した MTJ において、350°C の熱処理で 100%の TMR 比を実現した。

・連携研究

総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成された「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」において、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) $L1_0$ 型 MnAl 合金において 1×10^7 erg/cc という高い垂直磁気異方性を有する垂直磁化膜を得ることに成功した。(2) Co_2MnSi/MgO 界面に 0.8 nm の CoFe を挿入した場合に 2 K で 947%、室温で 350%の磁気抵抗比を得た。(3) 0.14 μm および 90 nm COMS/MTJ プロセスにおいて CAM (content-addressable memory) セル回路のチップ試作を行い、基本動作を確認した。(4) リコンフィギュラブルスピンロジックを用い、ワーキングメモリ(SRAM)からコンフィギュレーションメモリ(SPRAM)への高速書き込み動作を実証することに成功した。

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一･末光哲也）

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、第一に、質量消失効果等の特異なキャリア輸送特性を有する新材料グラフェンを研究対象とし、シリコン基板にエピタキシャル成長したグラフェン（末光眞希教授提供）をチャネルとする FET をナノ・スピン実験施設で試作し、相補型論理動作の室温観測に初めて成功した。第二に、光学励起したグラフェンにおけるテラヘルツ帯反転分布・誘導放出に関する理論予測の観測・実証に成功した。

● 量子光情報工学（枝松圭一・小坂英男）

1．光ファイバ，導波路媒質における単一光子レベルでの光学非線形性の測定
光子間の量子状態制御は，量子情報通信において本質的に重要な要素である．本研究分野では，フォトニック結晶ファイバ，Si 細線導波路を用いて，単一光子レベルの光によって誘起される光カー効果の測定に世界で初めて成功した（Applied Physics Letters 誌等に発表）．

2．量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発
量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指し，光子がもつ量子情報を電子スピンへと転写する量子メディア変換素子の開発を進めている．本年度は，g 因子を制御した半導体量子ド

ット素子を作製し、単一光子の偏光状態を単一電子のスピンに転写し、また単一電子スピンをゲート操作によってコヒーレントに操作することに成功した。さらに、g因子を制御した二重量子ドットのゲート操作により、２電子のコヒーレンスを読み出し、完全ベル測定が可能であることを理論的に示した（Physical Review Letters 誌に発表）.

ナノ分子デバイス基盤技術関連

● ナノ分子デバイス（庭野道夫・木村康男）

①イオン液体を用いた P3HT 有機トランジスタの作製とその評価

イオン液体を用いた P3HT 有機トランジスタを作製し、低電圧で高出力電流が得られることを示した。また、動作中における P3HT 膜の赤外その場観察を行い、電気化学ドーピングによりってトランジスタ動作していることを解明した。

②陽極酸化による酸化チタンナノチューブ膜のガラス基板上への直接形成

DC マグネトロンを用いて基板上に金属チタンを堆積し、フッ化アンモニウム有機電解液中でその金属チタン膜を陽極酸化することにより、酸化チタンナノチューブ膜を基板上に直接形成することに成功した。また、そのチューブ径は、陽極酸化電圧によって制御できることを示した。

③シリコン基板上への人工脂質 2 分子膜の作製

シリコン基板上に作製した微細孔を用いることにより、機械的かつ電気的耐久性に優れた人工細胞膜を作製することに成功した。また、シリコン基板に絶縁層をコーティングすることによりノイズを抑制できることを示した。

④ポーラスアルミナのナノ孔中への人工脂質 2 分子膜形成

ポーラスアルミナのナノ孔中にチャネルタンパク質を包埋した人工脂質 2 分子膜の作製に成功し、これまでのテフロン膜を支持膜とした場合と比べて、機械的かつ電気的耐久性に優れていることを確認した。

ナノヘテロプロセス研究室

IV 族半導体ナノ立体構造の実現と応用のための基盤技術の研究

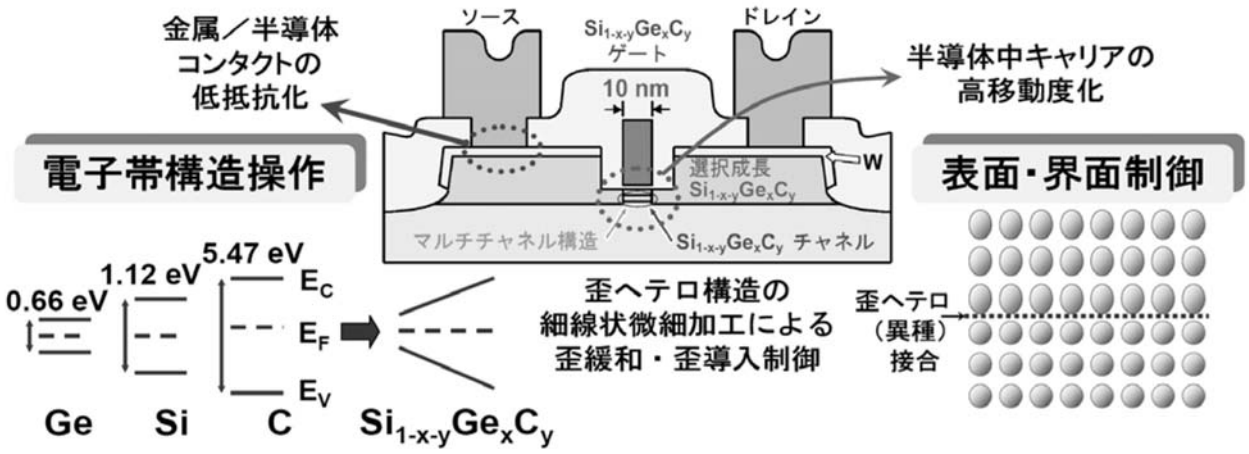


図１。ナノヘテロ人工 IV 族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用。

ナノヘテロプロセス研究部　教　授　室田 淳一
量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究部　准教授　櫻庭 政夫

＜研究室の目標＞

薄膜形成やエッチングを原子オーダの精度で制御するプロセス技術の開発は、将来の超大規模集積回路（ULSI）の大容量化・高速化や量子効果を積極的に利用した新機能デバイス製作、さらに、従来のバルク材料とは異なる未知の新物性を持つ材料の創生のために極めて重要である。本研究部は、Si の物性限界・微細化限界を超えて、電荷の究極制御を Si 集積回路にオンチップ化で達成するために、表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロ人工 IV 族半導体製作技術とナノ立体加工技術をモレキュラー制御により確立すると同時に、原子精度ナノヘテロデバイス製作プロセスを構築することを目標とする。（**図１**）

＜2010 年度の主な成果＞

１．熱 CVD プロセスによる歪 $Si_{0.3}Ge_{0.7}$ 上に形成した P 原子層表面への Si キャップ層エピタキシャル成長により、ヘテロ界面への P 原子層ドーピングについて研究を進めた結果、PH_3 吸着・反応層上の Si 成長表面への P 偏析が、無歪の場合に比べて引っ張り歪の場合により顕著になり、ヘテロ界面での固溶限界も下がることを見いだした。

２．IV 族半導体表面の歪が CVD 表面反応速度に大きな影響を与え、無歪 Si(100)上に比べ、引っ張り歪 Si(100)上では、$Si_{0.55}Ge_{0.45}$ 混晶の堆積速度が大きく減少し、圧縮歪 Si(100)上では大きく増加することを明らかにした。また、高移動度化のために利用されようとしている引っ張り歪 Si 中では、0.8%のわずかな引っ張り歪でさえ、Si 中の B 原子の電気的活性度が大きく低

下し、キャリア濃度を高くできない問題が顕在化することを見いだした。

３．高 Ge 比率ナノメートル厚極薄 $Si_{0.42}Ge_{0.58}$ 上への Si エピタキシャル成長に 400°C の低温でも堆積速度の速い高反応性原料ガス（Si_2H_6）を用いることにより、ヘテロ界面でのラフネス発生やミキシングを効果的に抑制できることを見いだした．そして、ナノメートルオーダ Si 障壁を有するホール共鳴トンネルダイオードの試作に適用することにより、明瞭な室温負性コンダクタンスを得ることに成功した。

＜職員名＞

教　授　室田 淳一（1995 年より）
准教授　櫻庭 政夫（2002 年より）
教育研究支援者　千葉 洋平

＜プロフィール＞

室田 淳一　1970 年 3 月　北海道大学工学部電子工学科卒業。1972 年 3 月　同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1972 年 4 月　日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所。1983 年 4 月　同公社厚木電気通信研究所を経て、1985 年 3 月　東北大学電気通信研究所助教授、1995 年 2 月　同教授、現在に至る。Si ベース IV 族半導体原子制御プロセスの研究に従事。第 3 回（平成 15 年度）山崎貞一賞受賞。平成 22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）受賞。

櫻庭 政夫　1990 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月　同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1995 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2002 年 8 月　同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月　同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料（SSDM）国際会議 Young Researcher Award 受賞（1992 年）、第 12 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞（2002 年）。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, “Atomically Controlled Plasma Processing for Group IV Quantum Heterostructure Formation”, Key Engineering Materials, Vol.470, pp.98-103, (2011).

[2] K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, “Fabrication of High-Ge-Fraction Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si Hole Resonant Tunneling Diode Using Low-Temperature Si_2H_6 Reaction for Nanometer-Order Ultrathin Si Barriers”, Solid-State Electron., Vol.60, pp.112-115, (2011).

[3] A. Uto, M. Sakuraba, M. Caymax and J. Murota, “Evolution of the Hydrogen Terminated Structure of the Si(100) Surface and Its Interaction with H_2 at 20-800°C”, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918397.

[4] M. Nagato, M. Sakuraba, J. Murota, B. Tillack, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, “In-Situ Heavy B-Doped Si Epitaxial Growth on Tensile-Strained Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD Using SiH_4 and B_2H_6”, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918419.

[5] Y. Chiba, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, “Influence of Strain on P Atomic-Layer Doping Characteristics in Strained $Si_{0.3}Ge_{0.7}$/Si(100) Heterostructures”, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918431.

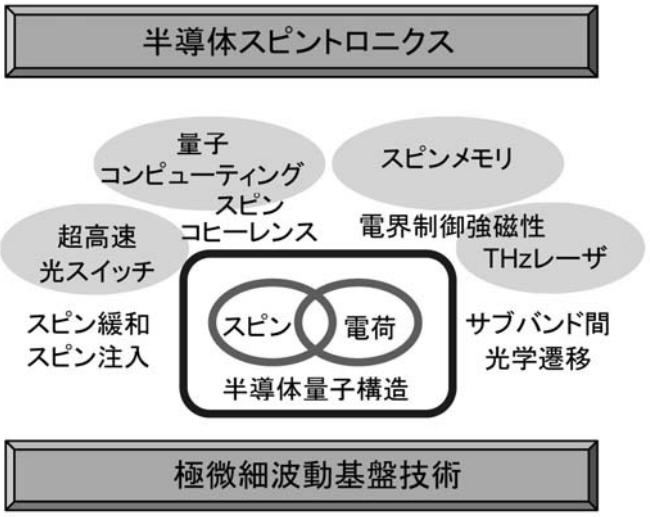
[6] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, “Atomically Controlled Processing in Strained Si-Based CVD Epitaxial Growth” (**Invited Paper**), 10th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2010), Shanghai, China, Nov. 1-4, 2010, Proc.No.I12_05.

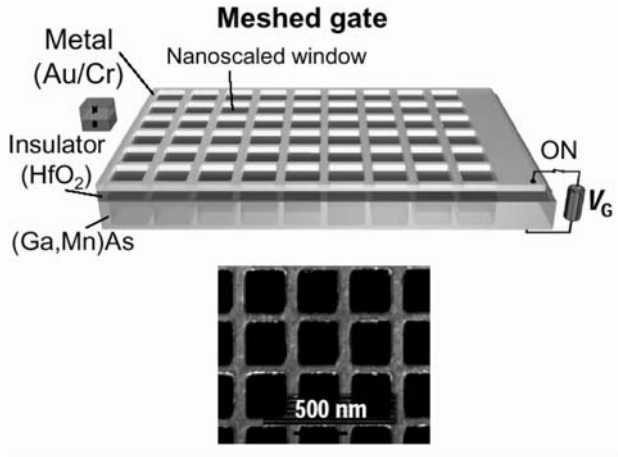
[7] M. Sakuraba and J. Murota, “Atomically Controlled Plasma Processing for Epitaxial Growth of Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), 10th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2010), Shanghai, China, Nov. 1-4, 2010, Proc.No.I12_07.

他　学術雑誌 6 件，国際会議発表論文 15 件

半導体スピントロニクス研究室

極微細波動基盤技術：
半導体スピントロニクスからテラヘルツ光の発生まで





電界印加による強磁性ナノ・ドットの作製。
素子の模式図とゲート電極の写真。

＜研究室の目標＞

半導体内の量子状態を制御し工学的に応用するための研究を進めている。特に、スピンと電荷の自由度を使った半導体スピントロニクス、今後の情報通信に必要な THz コヒーレント光源の研究を行っている。

具体的には、分子線エピタキシ法で成長した GaAs/AlAs、InAs/(Al,Ga)Sb、GaN、ZnO などの非磁性半導体とそれらに磁性元素をドープした強磁性半導体の高品質な構造を研究対象としている。これらの半導体構造の電気・光・磁気的特性を調べ、応用に結びつける研究を行っている。特に、強磁性半導体/非磁性半導体量子構造におけるスピン物性の解明と新しい素子の動作原理、電子・核スピンコヒーレンスの光制御・光検出による固体量子情報技術、InAs 及び GaAs 量子井戸中のサブバンド間の光学遷移による THz レーザ光源開発の研究に力を注いでいる。これらの研究によって、固体材料中のスピンを用いたメモリ・演算デバイスや量子コンピューティング・量子メモリ素子などの新しいデバイス・システムの実現を目指している。

＜2010 年度の主な成果＞

- Ta/CoFeB/MgO 積層構造において CoFeB を薄層化することで、CoFeB/MgO の界面磁気異方性に起因する垂直磁気異方性が発現することを見出した。また、この磁気異方性の大きさは外部電界を印加することによって変調可能であることを示した。(文献 3)
- (Ga,Mn)As 薄膜をチャネルとしたメッシュ状のゲート電極を持つ電界効果素子を作製した(図)。ゲート電極に電界を印加することでナノ・スケールの強磁性ドットの形成が可能であることを示した。(文献 9)

・非磁性半導体量子構造における核四重極相互作用の大きさとスピン位相緩和時間との関係を解明した。

＜職員名＞

教　授　大野 英男（1994 年より）
准教授　大野 裕三（2001 年より）、松倉 文礼（2006 年より）
助　教　大谷 啓太

＜教授のプロフィール＞

1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞、2003年度The IUPAP Magnetism Prize、平成17年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize 受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。中国科学院半導体研究所名誉教授号。応用物理学会フェロー。東北大学ディスティングイッシュトプロフェッサー。IEEE Magnetic Society, Distinguished Lecturer for 2009。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、APS、IEEE、AVS会員。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] S. R. Dunsiger, J. P. Carlo, T. Goko, G. Nieuwenhuys, T. Prokscha, A. Suter, E. Morenzoni, D. Chiba, Y. Nishitani, T. Tanikawa, F. Matsukura, H. Ohno, J. Ohe, S. Maekawa, and Y. J. Uemura, "Spatially homogeneous ferromagnetism of (Ga, Mn)As", Nature Materials, Vol. 9, pp. 299-303, April 2010.

[2] D. Chiba, Y. Nakatani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Simulation of magnetization switching by electric-field manipulation of magnetic anisotropy," Applied Physics Letters, Vol. 96, 192506 (3 pages), May 2010.

[3] M. Endo, S. Kanai, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field effects on thickness dependent magnetic anisotropy of sputtered MgO/$Co_{40}Fe_{40}B_{20}$/Ta structures," Applied Physics Letters, Vol. 96, 212503 (3 pages), May 2010.

[4] A. Kanda, A. Suzuki, F. Matsukura, and H. Ohno, "Domain wall creep in (Ga,Mn)As," Applied Physics Letters, Vol. 97, 032504 (3 pages), July 2010.

[5] J. Misuraca, J. Trbovic, J. Lu, J. Zhao, Y. Ohno, H. Ohno, P. Xiong, and S. V. Molnár, "Band-tail shape and transport near the metal-insulator transition in Si-doped $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$," Physical Review B, Vol. 81, 045208 (6 pages), September 2010.

[6] Y. Nishitani, M. Endo, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic anisotropy in a ferromagnetic (Ga,Mn)Sb thin film," Physica E, Vol. 42, pp. 2681-2684, October 2010.

[7] M. Kohda, J. Ogawa, J. Shiogai, F. Matsukura, Y. Ohno, and H. Ohno, and J. Nitta, "Width and temperature dependence of lithography-induced magnetic anisotropy in (Ga,Mn)As wires," Physica E, Vol. 42, pp. 2685-2689, October 2010.

[8] A. Tsukazaki, S. Akasaka, K. Nakahara, Y. Ohno, H. Ohno, D. Maryenko, A. Ohtomo, and M. Kawasaki, "Observation of the fractional quantum Hall effect in an oxide," Nature Materials, Vol. 9, pp. 889-893, November 2010.

[9] D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrically Defined Ferromagnetic Nanodots," Nano Letters, Vol. 10, 4505-4508, November 2010.

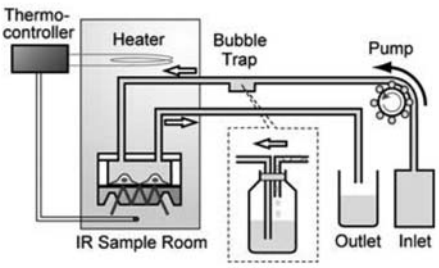
[10] H. Ohno, "A window on the future of spintronics," Nature Materials, Vol. 9, pp. 952-954, November 2010.

[11] M. Endo, F. Matsukura, and H. Ohno, "Current induced effective magnetic field and magnetization reversal in uniaxial anisotropy (Ga,Mn)As," Applied Physics Letters, Vol. 97, 222501 (3 pages), November 2010.

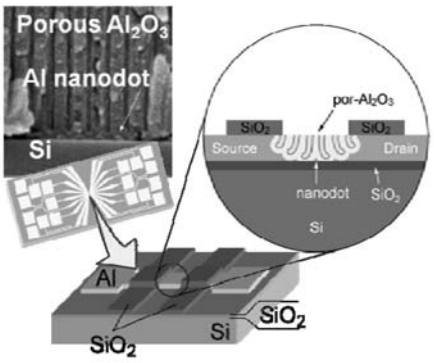
[12] S. Kanai, M. Endo, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic Anisotropy Modulation in Ta/CoFeB/MgO Structure by Electric Fields," Journal of Physics: Conference Series, Vol. 266, 012902 (5 pages), 2011.

ナノ分子デバイス研究室

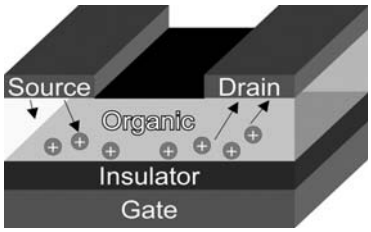
分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と新機能デバイスの創製



多重内部反射型赤外吸収分光法（MIR-IRAS）による細胞動態計測



陽極酸化にともなうナノドット形成と単電子トランジスタ（SET）への応用



有機トランジスタ（OFET）の動作機構解明

ナノ分子デバイス研究分野　教　授　庭野 道夫
ナノ電子デバイス研究分野　准教授　木村 康男

＜研究室の目標＞

半導体微細加工技術を基盤技術として，ナノ構造体・機能性有機分子などの新規材料，および，生体分子を用いた，分子情報素子・分子エレクトロニクス素子などのデバイス開発に向けた基盤研究をおこなう．Si 半導体とナノテクノロジー・バイオテクノロジーとの融合による新規アプローチにより，生命情報処理デバイスの創製，および，様々な高次情報処理を可能とする，分子サイズのデバイスの実現を目指す．

＜2010 年度の主な成果＞

1. ポーラスチタンを用いた色素増感太陽電池の作製とその評価

ポーラスチタン，チタン堆積層等からなる複合電極を作製し，色素増感太陽電池 (Dye-sensitized Solar Cell: DSC) に適用した．ナノポーラス構造に由来する表面積増大により，電解液/対極界面の抵抗低減を実現し，変換効率の向上が得られることを示した．(発表論文 [1])

2. 高移動度有機材料を用いた有機電界効果トランジスタの作製とその評価

ルブレン単結晶薄膜を用いた有機電界効果トランジスタ (Organic Field Effect Transistor: OFET) を作製し，OFET の動作機構がチャネルにおける蓄積電荷量だけでなくキャリア注入過程に依存することを示した．(発表論文 [2])

3. 表面赤外分光法を用いたミトコンドリア内 ATP 合成機能の評価

ミトコンドリアの ATP 合成機能の評価手法として Si プリズムを用いた多重内部反射型赤外吸収分光法 (MIR-IRAS) を適用し，薬剤処理に対するミトコンドリアの ATP 合成過程・加水分解過程の非標識リアルタイム測定に成功した．(発表論文 [3])

＜職員名＞

教　授　庭野 道夫（1998 年より）
准教授　木村 康男（2010 年より）
助　教　青沼 有紀

＜プロフィール＞

庭野 道夫　1980 年　東北大学大学院理学研究科博士課程修了. 理学博士. 1980 年　宮城教育大学助手，1986 年　東北大学電気通信研究所助手，1988 年　同助教授，1998 年　同教授，現在に至る．これまで固体光物性，半導体表面物性，半導体材料工学，表面科学の研究に従事．最近の研究課題は，赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスの開発研究など．所属学会は，応用物理学会，日本表面科学会，日本物理学会，電気情報通信学会，電気学会．

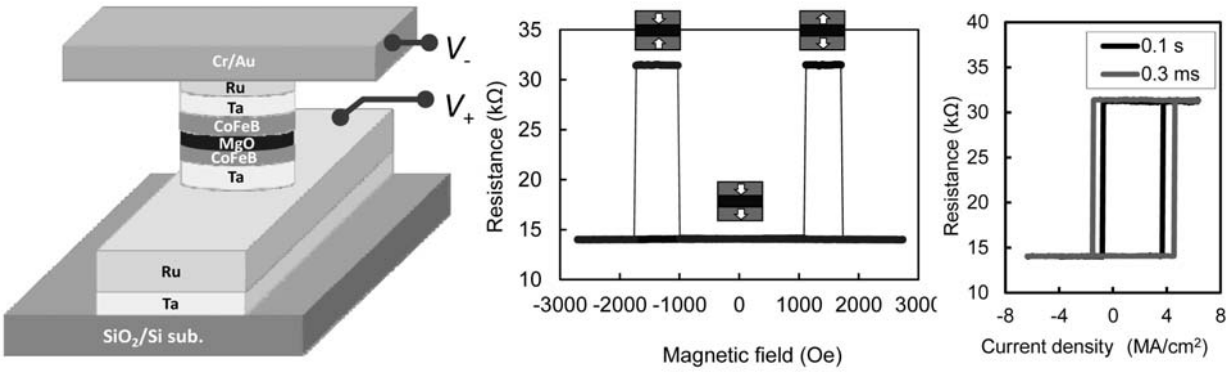
木村 康男　1994 年　東北大学工学部電気工学科卒業．1999 年　東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了．博士（工学）．1999 年　東北大学電気通信研究所助手，2007 年　同助教，2010 年 7 月　同准教授，現在に至る．専門は，半導体工学，半導体表面物性．最近の研究課題は，ナノポーラス構造体を用いたデバイス作製とその応用など．所属学会は，応用物理学会，日本物理学会，日本表面科学会，電子情報通信学会．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] M. M. Rahman, R. Kojima, M. El Fassy Fihry, Y. Kimura and M. Niwano, “Formation of Porous Titanium Film and Its Application to Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cell.” Japanese Applied Physics Letter, Vol. 49, No. 12, (2010) 122302.
[2] 木村康男，大場朋央，島倉尚子，庭野道夫，”有機電界効果トランジスタの特性に及ぼすキャリア注入の影響” 表面科学，Vol. 32, No. 1 (2011) pp. 21-26.
[3] R. Yamaguchi, A.Hirano-Iwata, Y. Aonuma, Y. Yoshimura, Y. Kimura, Y. Shinohara and M. Niwano, “Real-time monitoring of mitochondrial adenosine 5'-triphosphate synthesis and hydrolysis by surface infrared spectroscopy.” Applied Physics Letter, Vol. 98, No. 13 (2011) 133703.
[4] A. Hirano-Iwata, T. Taira, A. Oshima, Y. Kimura and M. Niwano, “Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films.” Applied Physics Letter, Vol. 96, No. 21, (2010) 213706.
[5] A. Hirano-Iwata, A. Oshima, T. Nasu, T. Taira, Y. Kimura and M. Niwano, “Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication.” Supuramolecular Chemistry, Vol. 22 No. 7&8 (2010) pp. 406-412.

ナノスピンメモリ研究室

スピンを用いたナノサイズデバイス・メモリの研究



垂直磁気異方性 CoFeB/MgO MTJ .　　CoFeB/MgO p-MTJ の磁化反転/スピン注入磁化反転.

Nat. Mater., 9 (2010) 721.

ナノスピンメモリ研究部　准教授　池田 正二

＜研究室の目標＞

21 世紀の高度情報通信に求められる高機能・低消費電力のメモリ・デバイスとそれによって可能となる新しい論理集積回路および情報通信処理システムを、スピン・磁性を用いて実現することを目標としている。

＜2010 年度の主な成果＞

１．　高性能 40 nmφ垂直磁気異方性 CoFeB/MgO 磁気トンネル接合(MTJ)

Ta/CoFeB/MgO の積層構造において、CoFeB の薄層化により垂直磁気異方性が発現することを発見した。この積層構造を MTJ 構造に適用することにより、接合サイズ 40nmφの MTJ で 350°C 熱処理後に TMR 比>100%、書込み電流 I_{c0} <50μA、熱安定性 E/k_BT ～40 が得られることを示した。これらの結果は、40nm 世代の不揮発性 VLSI の実現の可能性を示すものである。

２．　微細 MTJ に向けた垂直磁気異方性材料と構造の開発

Pd を薄層化した垂直磁気異方性 CoFe/Pd 多層膜と MgO 障壁との間に CoFeB を挿入した MTJ において，350°C の熱処理で 100%の TMR 比を実現した。これらの結果は、集積回路応用に向けた MTJ 磁性電極の材料設計に指針を与える。

３．　CMOS 回路上 MTJ 形成プロセスの開発

積層フェリ自由層 MTJ 素子を 140nm ノード COMS 回路上に実装させる試作プロセスを開発し、基本動作の実証に寄与した。

＜職員名＞

准教授　池田 正二
非常勤研究員　　三浦 勝哉
非常勤研究員　　山本 弘輝

＜准教授のプロフィール＞

池田 正二　1996 年 3 月　室蘭工業大学工学研究科博士後期課程修了。1996 年 4 月　室蘭工業大学電気電子工学科助手。1999 年 2 月　富士通株式会社，株式会社富士通研究所。2003 年 5 月　東北大学電気通信研究所産学連携研究員。2005 年 6 月　同助手。2006 年 4 月　同准教授、現在に至る。**磁気工学**の研究開発に従事。電気情報通信学会北海道支部　奨励賞　(1994 年)、　平成 15 年度日本応用磁気学会論文賞　(2003 年)、　第 31 回応用物理学会論文賞 (2009 年)。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] X. Kozina, S. Ouardi, B. Balke, G. Stryganyuk, G. H. Fecher, C. Felser, S. Ikeda, H. Ohno, and E. Ikenaga, “A nondestructive analysis of the B diffusion in Ta–CoFeB–MgO–CoFeB–Ta magnetic tunnel junctions by hard x-ray photoemission,” Appl. Phys. Lett. Vol. 96, No. 7, 072105 (3 pages), February 2010.

[2] R. Takemura, T. Kawahara, K. Miura, H. Yamamoto, J. Hayakawa, N. Matsuzaki, K. Ono, M. Yamanouchi, K. Ito, H. Takahashi, S. Ikeda, H. Hasegawa, H. Matsuoka, and H. Ohno, “A 32-Mb SPRAM With 2T1R Memory Cell, Localized Bi-Directional Write Driver and ‘1’/‘0’ Dual-Array Equalized Reference Scheme,” IEEE Journal of solid-state circuits, Vol. 45, No. 4, pp. 869-879, April 2010.

[3] K. Mizunuma, S. Ikeda, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, H. Hasegawa, J. Hayakawa, K. Ito, F. Matsukura, H. Ohno, “CoFeB Inserted Perpendicular Magnetic Tunnel Junctions with CoFe/Pd Multilayers for High Tunnel Magnetoresistance Ratio,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, No. 4, 04DM04 (4 pages), April 2010.

[4] T. Endoh, F. Iga, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, M. Kamiyanagi, H. Hasegawa, T. Hanyu, and H. Ohno, “The Performance of Magnetic Tunnel Junction Integrated on the Back-End Metal Line of CMOS Circuits,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, No. 4, 04DM06 (5 pages), April 2010.

[5] H. D. Gan, S. Ikeda, W. Shiga, J. Hayakawa, K. Miura, H. Yamamoto, H. Hasegawa, F. Matsukura, T. Ohkubo, K. Hono, and H. Ohno, “Tunnel magnetoresistance properties and film structures of double MgO barrier magnetic tunnel junctions,” Applied Physics Letters, Vol. 96, No. 19, 192507 (3 pages), May 2010.

[6] M. Endo, S. Kanai, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, “Electric field effects on thickness dependent magnetic anisotropy of sputteres MgO/$Co_{40}Fe_{40}B_{20}$/Ta structures,” Applied Physics Letters, Vol.96, No. 21, 212503 (3 pages), May 2010.

[7] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura and H. Ohno, “A perpendicular-anisotropy CoFeB–MgO magnetic tunnel junction ,” Nature Materials, Vol. 9 No.9 pp.721-724, September 2010

[8] F. Iga, M. Kamiyanagi, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, H. Hasegawa, T. Hanyu, H. Ohno, T. Endoh, “Study of the DC Performance of Fabricated Magnetic Tunnel Junction Integrated on Back-end Metal Line of CMOS Circuits,” IEICE Transactions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.608-613, 2010.

[9] M. Kamiyanagi, F. Iga, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, H. Hasegawa, T. Hanyu, H. Ohno, T. Endoh, “Transient characteristic of fabricated Magnetic Tunnel Junction (MTJ) programmed with CMOS circuit,” IEICE Transactions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.602-607, 2010.

[10] K. Mizunuma, M. Yamanouchi, S. Ikeda, H. Sato, H. Yamamoto, H. D. Gan, K. Miura, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, “Pd Layer Thickness Dependence of Tunnel Magnetoresistance Properties in CoFeB/MgO-Based Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicular Anisotropy CoFe/Pd Multilayers,” Applied Physics Express, Vol. 4, No. 2, 023002 (3pages), February 2011.

[11] S. Fukami, T. Suzuki, Y. Nakatani, N. Ishiwata, M. Yamanouchi, S. Ikeda, N. Kasai, and H. Ohno, “Current-induced domain wall motion in perpendicularly magnetized CoFeB nanowire,” Applied Physics Letters, Vol. 98, No. 8, 082504 (3 pages), February 2011.

3.7 ブレインウェア実験施設の目標と成果

東北大学電気通信研究所附属ブレインウェア実験施設は，平成１６年４月の研究組織の改組・再編と同時に新設された。その目的は，電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを，世界に先駆けて実現する基盤技術を創製することにある。本施設は，実世界コンピューティング研究部，新概念 VLSI システム研究部，知的ナノ集積システム研究部，マイクロアーキテクチャ研究部の４研究部構成に加えて，サイバーロボット研究部，先端ヒューマンインタフェイス研究部の整備が予定されており，関連各研究分野の協力の下に，施設の運営を行う。そのために，本研究所及び本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野の研究成果と全国のブレインウェア分野の研究者の英知を結集して研究を行う。



＜施設の目標＞

実世界コンピューティング研究部：生体システムの持つ柔軟な情報生成原理を明らかにし，実世界の複雑性に対応できる情報システムの構築を目指す。生体システムが複雑な実世界において目的や機能を達成するには逆問題を解かなければならない。逆問題は一般には不良設定問題になるので適切な拘束条件を自律的かつリアルタイムに生成し，リアルタイムに充足しなければならない。この拘束条件自律生成・自律充足の論理を明らかにし，この機構を実世界における認識システムや運動制御システムに応用・実装する。

新概念VLSIシステム研究部：配線数，電力消費及び材料特性ばらつきに起因する信頼性低下が超微細VLSIにおいて益々問題となる。そこで本研究部では，大局的配線を極端に削減できるロジックインメモリVLSIアーキテクチャの設計法と実現法に関する研究，並びに大局的配線を高速に駆動するための新概念回路技術として多値電流モード非同期回路に関する研究を推進し，従来技術の延長でない新概念VLSIの実現を目指す。

知的ナノ集積システム研究部：集積回路の大規模化とディジタルデバイスの高速化は情報処理性能を飛躍的に高め，知的な柔軟性のある高速処理の実現に向けて研究開発が行われている。本研究部ではこの方向に向かって，しかしデジタル素子の高速化のみではなく，回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し，ブレインライクな知的情報処理システムの構成的研究とそれに向けた新しいデバイスの開発による次世代知的ハードウェアシステムの構築を目標としている。

マイクロアーキテクチャ研究部：ブレインウエアへの応用を可能にするセンサー・ネットワーク・システムへの応用を念頭におき，RF/アナログ回路とディジタル回路を混載した，Mixed Signal SoC (System on a Chip)のアーキテクチャ・回路設計，および，その設計生産性の向上（Top Down設計手法の確立）を研究し，SoCの低価格化・低消費電力化の実現を行う。

＜20010 年度の主な成果＞

実世界コンピューティング研究部：2010 年度は、主に以下の二点につき研究を推進した。日常生活では、物体を操作する場面が多い。しかしながら、日常場面では多くの物体形状は遮蔽され、操作行動指令を生成する前に、遮蔽された形状についての仮設を生成し、遮蔽された部分の形を補完して認識する必要がある。そこで、われわれは大脳皮質 V4 野の神経細胞活動の性質を参考に、形の遮蔽補完の計算論を構築した。また、無限定な環境に柔軟に対応するには行動指令を動的に生成する必要がある。前頭前野の興奮性細胞・抑制性細胞からなる神経回路で行動指令が動的に生成するかを理論・実験面から検討するため、神経発火揺らぎを検討した。理論計算からは、神経回路の力学状態が動的に遷移する際に発火揺らぎが上昇することが示唆された。それに対応するように、前頭前野における行動指令直前に発火揺らぎが上昇することが確認された。

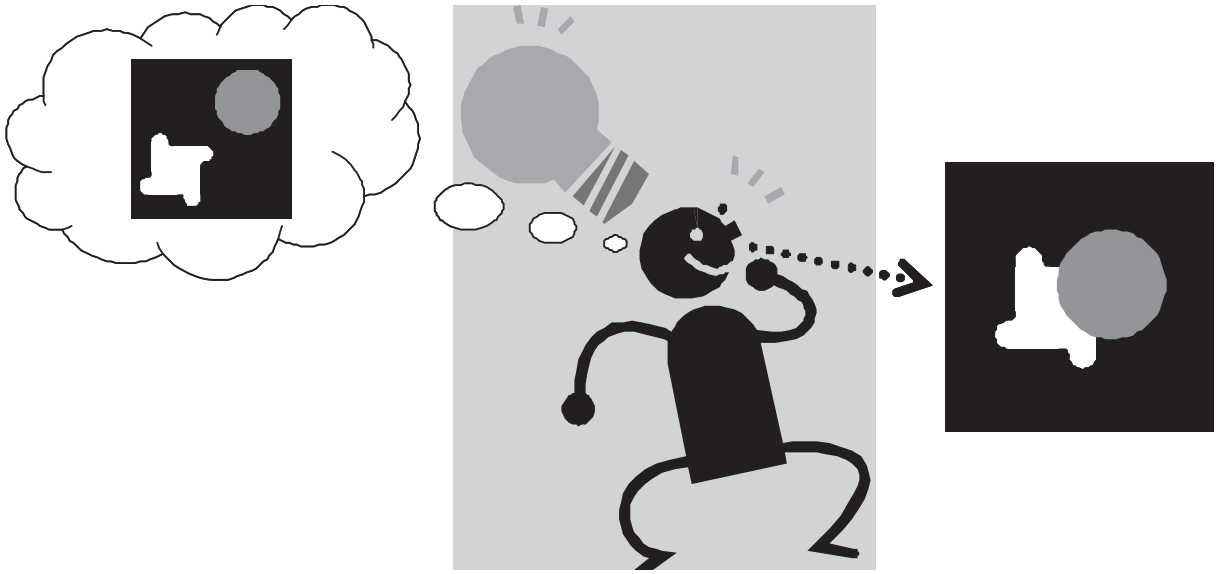
新概念 VLSI システム研究部（羽生研究室）：不揮発性ロジックインメモリ回路技術の実用的応用例として，MTJ 素子を不揮発記憶デバイスとして用いた FPGA（Field-Programmable Gate Array）の論理演算回路ブロック LUT(Lookup Table)回路を，MTJ 素子を冗長に用いて PVT ばらつき耐性を有する新しい回路構成を考案し，その機能を回路シミュレーション上で検証した。また，不揮発性２値 CAM セル回路が，MTJ 素子１個と nMOS トランジスタ１個を直列接続した「1T-1MTJ」構造で極めてコンパクトに構成できることを示すと共に，テストチップによる原理動作検証に成功した．さらに，非同期ネットワークオンチップにおいて，電流モード回路を利用した高信頼リンクの考案に成功した．この性能は，オープン故障検出・修復機能，QDI 機能を有しながら，従来実現（TMR 実現）と比べ，消費エネルギーを半減，配線数を大幅に削減できる特長を有している．

知的ナノ集積システム研究部（中島・佐藤研究室）：(1) 新概念の疑似粒子運動モデルを用いた神経モデル結合系の解析を進めるとともに、人工ブレインシステム実現を目指した結合神経系の試作ハードウェアの設計・測定を行った。(2) Nb/AlOx/Nb ジョセフソン接合列を用いてスイッチング電流分布を測定することにより、スイッチング電流分布から接合間結合を求めるための実験手法の確立を図った。(3) 超伝導ディジタル信号処理回路の大規模化を目的とし、8x8 ビット並列乗算器の設計を行った。最大動作周波数 40GHz、消費電力 6.33mW での構成が数値解析により確認され、半導体回路に対する優位性を示された。

マイクロアーキテクチャ研究部（桝井研究室）：センサーネットワークなどに応用可能な低消費電力トランシーバの研究に取り組んだ。Fractional-N PLL シンセサイザにおいて，□□変調器の量子化雑音を乱数として使用し，追加の Hardware Overhead なしにスプリアスを低減できる Self-Dithering 技術を確立した。さらに低消費エネルギー化のため，20□sec 以下の Start-up Time を実現する手法を提案した。従来方式の Tuning を省略し，不揮発メモリに Tuning データを蓄積し，この不揮発メモリとしてサイドウォール電荷蓄積セルを採用することにより，標準 CMOS プロセスで製造可能な 32bit ラッチを，0.18□m テクノロジで設計・試作・評価し，不揮発動作を確認した。また，設計生産性の向上に関し，g_m-I_D Lookup Table 手法を用いた演算増幅器の最適化設計手法の研究を進め，2-Stage Miller-Compensated 方式，Gain-Boosted Folded-Cascode 方式の最適化と Worst-Case 設計手法を確立し，上記トランシーバ IC 向け Bandpass Filter 設計への適用において，新規アーキテクチャの採用も含め，消費電力を 23.5mW から 2.7mW に削減できることを確認した。

実世界コンピューティング研究室

無限定な実世界環境への適応原理を目指して
～脳・身体の柔軟な情報処理・制御則の探究～



実世界コンピューティング研究部　教　授（兼）　中島　康治

＜研究室の目標＞

時々刻々変化し続ける無限定な実環境において、生物は周囲との調和的な関係を自律的に構築することができる。本研究分野では、この生物の脳の優れた情報処理原理を解明し、工学的に応用することを目的としている。主な研究課題は、(1)視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究、(2)コンテキストに依存する神経回路の役割の研究等である。

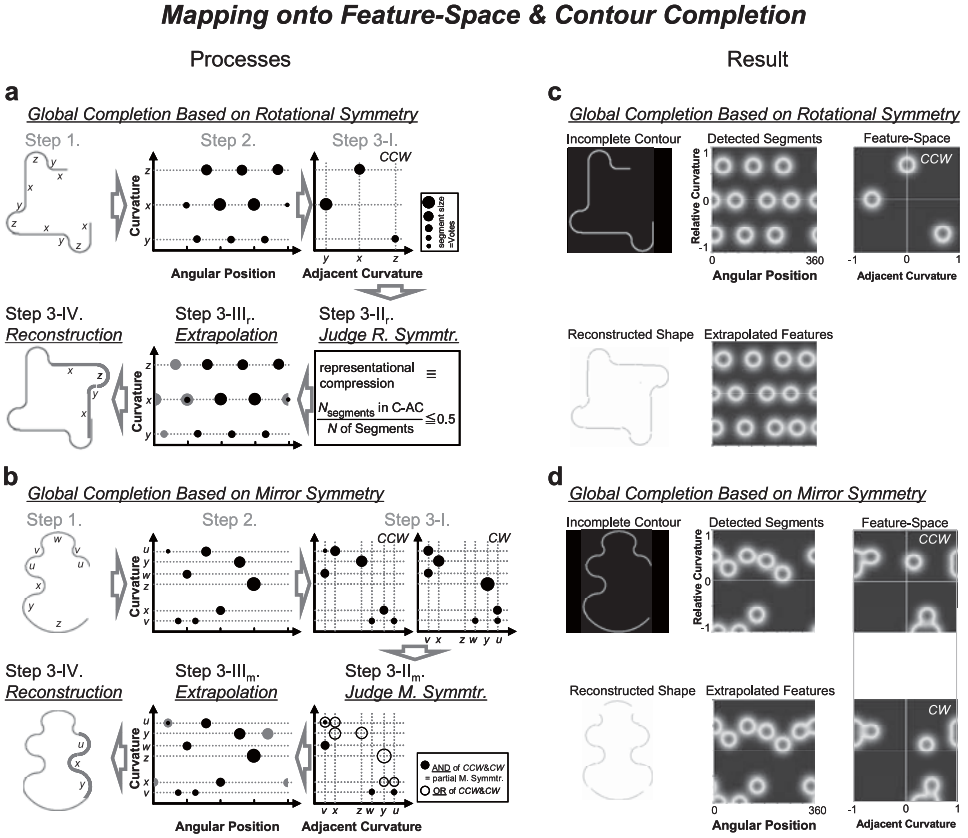
＜2010 年度の主な成果＞

２０１０年度は、主に以下の二点につき研究を推進した。

日常生活では、物体を操作する場面が多い。しかしながら、日常場面では多くの物体形状は遮蔽され、操作行動指令を生成する前に、遮蔽された形状についての仮設を生成し、遮蔽された部分の形を補完して認識する必要がある（上図）。そこで、われわれは大脳皮質Ｖ４野の神経細胞活動の性質を参考に、形の遮蔽補完の計算論を構築した。特筆すべきは、これまでの計算論では不可能であった、部分的な対称性を用いた補完を実現できたことである（次項図）。このような計算論は、実世界で活躍するマシン・ヴィジョンの発展に大きく寄与すると期待される。

また、無限定な環境に柔軟に対応するには行動指令を動的に生成する必要がある。前頭前野の興奮性細胞・抑制性細胞からなる神経回路で行動指令が動的に生成するかを理論・実験面から検討するため、神経発火揺らぎを検討した。理論計算からは、神経回路の力学状態が動的に遷移する際に発火揺らぎが上昇することが示唆された。それに対応するように、前頭前野における行動指令直前

に発火揺らぎが上昇することが確認された。この研究成果は、神経活動実験データから、直接、脳内神経回路の力学的状態を評価する端緒として重要性を持つと思われる。



図．部分回転対称、部分線対称に基づく遮蔽図形補完の計算原理と計算例

＜職員名＞

教授（兼）　中島　康治
助教　　牧野　悌也、　坂本　一寛

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] K. Sakamoto, T. Kumada and M. Yano, “A computational model that enables global amodal completion based on V4 neurons,” ICONIP 2010, Part I, LNCS (Lecture Notes in Computer Science), Vol. 6443, pp. 9-16, 2010

[2] K. Sakamoto, T. Kumada and M. Yano, “A neurocomputational model for amodal completion in ambiguous figures,” Neurosci. Res., Vol. 68, sppl1, p. e217, 2010

[3] K. Sakamoto, Y. Katori, N. Saito, J. Tanji, K. Aihara and H. Mushiake, “The modulation of firing variability can be used to access the dynamical state in neuronal networks,” J. Phyisiol. Sci., Vol. 60 sppl1 p. 191, 2010

[4] K. Sakamoto, Y. Katori, N. Saito, K. Aihara, J. Tanji and H. Mushiake, “The modulation of firing variability can be a measure for dynamical states in neuronal network,” The 1st Tohoku International Symposium on Multidisciplinary Neuroscience, p. P-S41, 2011

[5] Y. Katori, K. Sakamoto, H. Mushiake, K. Aihara, “Representational transition in a multi-stable attractor model of the prefrontal cortex,” J. Phyisiol. Sci., Vol. 60 sppl1 p. S64, 2010

[6] Y. Katori, K. Sakamoto, H. Mushiake, K. Aihara, “Transition of information representation in a multi-stable attractor model of the prefrontal cortex,” Neurosci. Res., Vol. 68, sppl1, p. e324, 2010

知的ナノ集積システム研究室

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

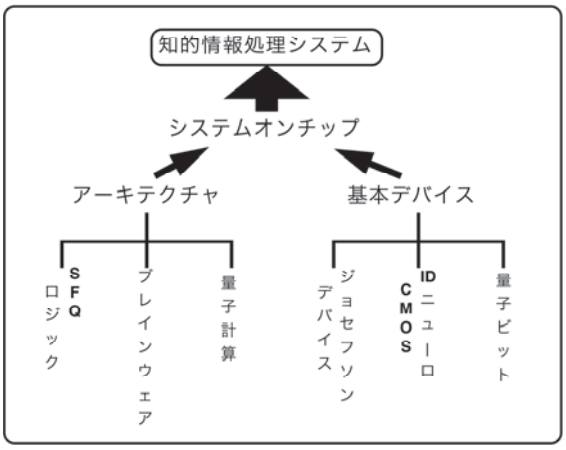


図１　知的ナノ集積システム研究部の研究目標

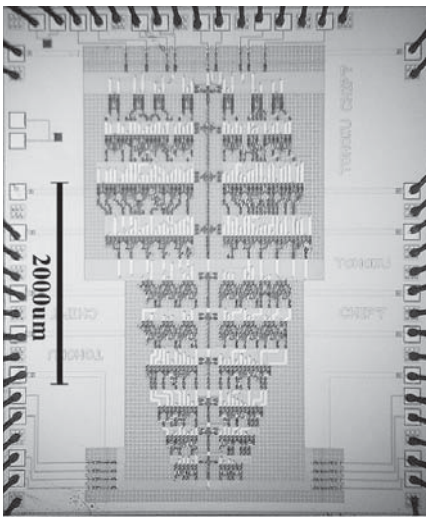


図２　磁束量子４ビット並列乗算器

知的ナノ集積システム研究部　教　授　中島 康治
超伝導量子集積システム研究部　准教授　佐藤 茂雄

＜研究室の目標＞

集積回路の大規模化とデジタルデバイスの高速化は情報処理性能を飛躍的に高め、知的な柔軟性のある高速処理の実現に向けて研究開発が行われている。本研究部ではこの方向に向かって、しかしディジタル素子の高速化のみではなく、回路・システムレベルからの広い可能性を加えて検討し、ブレインライクな知的情報処理システムの構成的研究とそれに向けた新しいデバイスの開発による次世代知的ハードウェアシステムの構築を目標としている。これまで百万シナプスのブレインライクシステムを開発、組み合わせ最適化問題に実用時間内で 100%の解答を与えるアクティブシリコンブレインシステムの提案を行い、プロトタイプをシリコンチップ上に作り出し、さらに高次のシステムへと展開している。また集積化超伝導素子を用いた FFT の構成や量子計算へのニューロ的手法の導入などの提案も行っている。

＜2010 年度の主な成果＞

［集積化ブレインコンピュータとダイナミック知的記憶システムの研究］　新概念の疑似粒子運動モデルを用いた神経モデル結合系の解析を進めるとともに、人工ブレインシステム実現を目指した結合神経系の試作ハードウェアの設計・測定を行った。また、高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルのストカスティックモデル化を提案・検討し、その実現可能性を明らかにした。
［量子計算デバイスとアルゴリズムの研究］　予め特性が分っているNb/AlOx/Nbジョセフソン接合列を用いてスイッチング電流分布を測定することにより、スイッチング電流分布から接合間結合を

求めるための実験手法の確立を図った。静電結合のある接合列と結合のない接合列とでは大きく異なるスイッチング電流分布が得られること、従来理論に比べ量子領域と古典領域のクロスオーバー領域が広がっていることを確認した。

［磁束量子データプロセッサの研究］　超伝導デジタル信号処理回路の大規模化を目的とし、８ｘ８ビット並列乗算器の設計を行った。最大動作周波数40GHz、消費電力6.33mWでの構成が数値解析により確認され、半導体回路に対する優位性が示された。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用したホップフィールド形ネットワークを構成し、N-Queen問題が解けることを数値解析により確認した。

＜職員名＞

教　授　中島 康治（1995 年より）　　准教授　佐藤 茂雄（2002 年より）
助　教　小野美 武　　秘　書　伊藤 茉莉花

＜プロフィール＞

中島 康治　1972 年 3 月　東北大学工学部電気工学科卒業。1978 年 3 月　同大学院博士課程修了。東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て 1995 年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

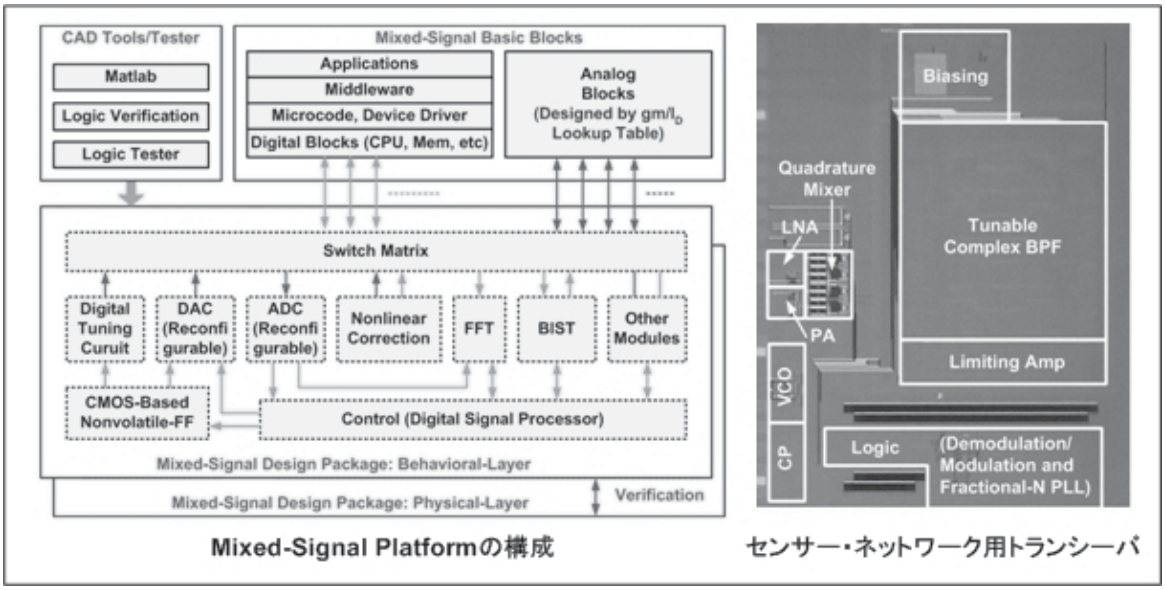
佐藤 茂雄　1989 年 3 月　東北大学工学部電子工学科卒業。1994 年 12 月　同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。1996 年 4 月　同大電気通信研究所助手。2002 年 10 月　同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月　同准教授、現在に至る。脳型計算機や量子計算機に関する研究に従事。IEICE 論文賞受賞（2000 年）、石田記念財団研究奨励賞（2005 年）。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Onomi, Y. Maenami, and K. Nakajima, “Superconducting Neural Network Solving a Combinatorial Optimization Problem,” 2010 Applied Superconductivity Conf., 3EP3B-04, Washington D.C., USA, Aug. 2010.
[2] R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, “4-bit SFQ Multiplier Based on Booth Encoder,” 2010 Applied Superconductivity Conf., 4EPA-07, Washington D.C., USA, Aug. 2010.
[3] S. Sato, A. Ono, M. Kinjo, and K. Nakajima, “Performance of Adiabatic Quantum Computation using Neuron-like Interconnections,” Proc. the 2010 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications, pp. 39-42, Krakow, Poland, Sep. 2010.
[4] T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Discrete Higher Order Inverse Function Delayed Network,” Proc. the 2010 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications, pp. 615-618, Krakow, Poland, Sep. 2010.
[5] K. Kurose, T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Analyses of Coupled Hindmarsh-Rose Type Bursting Oscillators,” Proc. the 2010 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications, pp. 619-622, Krakow, Poland, Sep. 2010.
[6] T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Discrete Higher Order Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems,” Proc. the 3rd Student Organizing International Mini-Conf. Information Electronics Systems, pp. 143-144, Sendai, Japan, Oct. 2010.
[7] R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, “High Throughput Parallel Multiplier of SFQ Circuits based on the Booth Encoder,” Proc. the 3rd Student Organizing International Mini-Conf. Information Electronics Systems, p. 172, Sendai, Japan, Oct. 2010.
[8] R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, A. Martins, S. Sato, and K. Nakajima, “High Throughput Parallel Arithmetic Circuits for Fast Fourier Transform,” IEICE Trans. Electron., vol.E94-C, pp.280-287, March 2011.

マイクロアーキテクチャ研究室

Mixed-Signal Platform の研究



マイクロアーキテクチャ研究部　教　授　桝井 昇一

＜研究室の目標＞

ユビキタス社会の到来によって，通信やセンシング用途等に向け Mixed-Signal（アナログ・ディジタル混載）回路設計技術と，IC 上へのシステム搭載技術の向上が要求されている。マイクロアーキテクチャ研究部では，Mixed-Signal SoC（System on a Chip)のアーキテクチャ・回路設計，および，その設計生産性の向上を研究の対象とし，ブレインウエアに関連したセンサー・ネットワークへの応用や，将来の脳的コンピュータ実現への貢献を目標とする。オープンシステムで使用される Mixed-Signal SoC では，微細化 CMOS テクノロジを利用し，目標性能を低価格・低消費電力で実現することが要求されているが，微細化によって顕著化した RF/アナログ回路の特性劣化・変動を抑制するため，SoC 上のディジタル回路を利用し，性能を向上する技術に大きな注目が集まっている．我々の第１の目標は，ディジタル回路による補正技術のみならず，IP 再利用などのディジタル設計手法をより大規模な SoC に展開し，Mixed-Signal Platform を実現することにある。さらに第２の目標として，SoC の低価格化に向け，ディジタル回路と比較して設計が困難な RF/アナログ回路において，設計生産性を大幅に向上できる自動設計手法の確立を挙げる。

＜2010 年度の主な成果＞

１． Mixed-Signal Platform の研究

これまで進めてきたワイヤレス・センサーネットワークに応用可能な低コスト・低消費電力トランシーバ IC 実現に向け Fractional-N PLL シンセサイザの研究を実施した。まず，Fractional Spurious を低減する Self-Dithering 手法を開発した。従来、Fractional Spurious を低減するためには、Linear Feedback Shift Register（LFSR)により疑似乱数を発生する Dithering 手法などが採用されてきたが，Hardware Overhead や追加の設計リソースが要求される。この課題を解決するために，$\Delta\Sigma$ 変調器の量

子化雑音を乱数として使用し，追加のHardware Overheadなしに Ditheringを実現する手法を確立した。

さらにPLLの低消費エネルギー化を進めるため，Start-up Timeを20 μsec以下とする回路技術を検討している。従来のTuning技術では80 μsecが最高の結果であり，この制約を克服するため，Tuningを省略し，不揮発メモリにテスト評価結果を蓄積する手法を提案した。この不揮発メモリは，サイドウォール電荷蓄積セルの採用により，標準 CMOS プロセス（追加プロセスなし）で実現され，このメモリ・セルの欠点であるOne-Time Programmabilityを克服するためのMulti-Bank構成を持った， 32bitラッチを，0.18 μmテクノロジで設計・試作・評価し，不揮発動作を確認した。

２． g_m/I_D Lookup Table法によるOTA自動設計技術の研究

アナログ回路の基本回路であるOTA(Operational Transconductnace Amplifier)は，A/D変換器，フィルタ，センサ・フロントエンド回路などに活発に応用されているが，消費電力と性能のトレードオフを行いながら仕様に合わせて設計することが極めて困難となっている。特に近年 CMOS デバイスのスケーリングによって，電流電圧特性が旧来の２乗側で表現することができなくなった結果，設計者のアイデアを実現しやすいHand Analysisベースの設計からの乖離が生じ，設計生産性の低下が著しくなっている。本課題を解決するため，g_m/I_D Lookup Tableを用いたHand Analysisベースの自動設計手法の研究を行っている。今年度は，2-Stage Miller-Compensated方式，Gain-Boosted Folded-Cascode 方式の最適化と Worst-Case 設計手法を確立し，低消費電力トランシーバ IC 向け Bandpass Filter 設計への適用を行い，消費電力を23.5mWから2.7mWに削減できる技術を提案した。

＜職員名＞

教　授　桝井　昇一（2007年より）
客員准教授　加保 貴奈　教育支援研究者　Illani Mohd Nawi　秘　書　志村 亜矢

＜プロフィール＞

桝井　昇一　1984年3月　名古屋工学部電気工学科卒業。1986年3月　同大学院工学研究科電気電子コース博士前記課程修了。1984年4月　新日本製鐵　第一技術研究所　入社。1990年4月～1992年4月　スタンフォード大学客員研究員。1999年4月　富士通　入社。2001年9月～11月　トロント大学客員研究員。2006年5月　東京工業大学　博士（工学）。2007年4月　東北大学　電気通信研究所　教授、現在に至る。Mixed-Signal SoCの研究開発に従事。文部科学大臣表彰（研究功績者）（2004年）。

＜2010年度の主な発表論文等＞

[1] Z. Xu, J. G. Lee, and S. Masui, “Self-Dithered Digital Delta-Sigma Modulators for Fractional-N PLL Synthesizers,” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp. 339-340, 2010.

[2] Z. Xu, J. G. Lee, and S. Masui, “Self-Dithered Digital Delta-Sigma Modulators for Fractional-N Frequency Synthesizers,” 電子情報通信学会　集積回路研究会 ICD-2010-36、pp. 121-126、2010年7月

[3] G. Wang, J. Lee, and S. Masui, “CMOS-Based Nonvolatile Flip-Flop Design and its Application to a Fractional-N PLL Frequency Synthesizer,” 電子情報通信学会　集積回路研究会 ICD-2010-100、pp. 31-36、2010年12月

[4] T. Konishi, et al., “Design Optimization of High-Speed and Low-Power Operational Transconductance Amplifier Using g_m/I_D Lookup Table Methodology,” IEICE Trans. on Electronics, vol. E94-C, no.3, pp. 334-345, 2011.

[5] T. Kashimura, T. Konishi, and S. Masui, “g_m/I_D Lookup Table Based Operational Transconductance Amplifier Design Featuring Settling Time Optimization,” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp. 341-342, 2010.

[6] J. Shi, T. Konishi, T. Kashimura, and S. Masui, “A 2.7mW 4th-Order Active Gm-RC Bandpass Filter with 60MHz Center Frequency and Analog/Digital Tuning Techniques,” 電子情報通信学会　シリコン材料・デバイス研究会 SDM-2010-127、pp. 17-22、2010年8月.

新概念VLSIシステム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

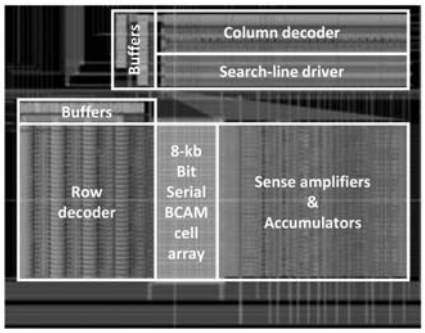


図 1. 高密度・不揮発 CAM チップレイアウト：MTJ 素子活用により不揮発記憶機能と検索機能を一体化した高密度且つ不揮発な CAM を実現.

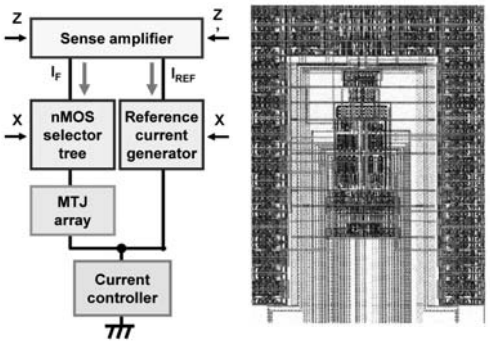


図 2. ばらつき補正機能付き MTJ/MOS ハイブリッド LUT 回路: 冗長に配置した MTJ 素子によってばらつき補正が可能な LUT 回路を実現.

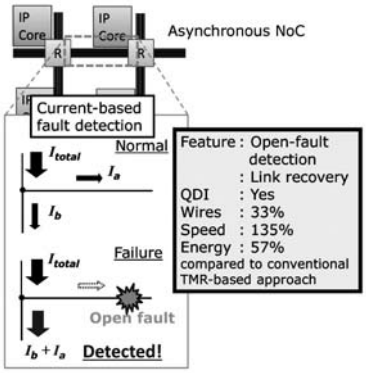


図 3. NoC 用高信頼非同期転送リンク：入力側の電流量変化をモニタリングすることにより，遅延仮定を置くことなく断線故障が検出可能.

新概念 VLSI システム研究部　教　授　羽生　貴弘

＜研究室の目標＞

現在の VLSI (Very Large Scale Integration) においては，素子間の配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネック，プロセス微細化に伴うリーク電流がもたらす消費電力の増大，および材料特性ばらつきに起因する信頼性の低下といった様々な要因がシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている．これらの問題を全く新しい視点から解決する新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現を目的とし，本研究部では，従来の延長上にはない新しい概念に基づく VLSI アーキテクチャに関する研究，すなわち不揮発記憶機能を有する新デバイスを演算回路に分散配置させることで高性能性・多機能性と高信頼性の両立を可能にする不揮発性ロジックインメモリ VLSI アーキテクチャ（図 1，2），次世代 VLSI コンピューティングにおける配線問題を解決する多値電流モード非同期回路技術（図 3）など，マルチメディア応用高性能 VLSI プロセッサの設計法および実現法に関する研究を行っている．

＜2010 年度の主な成果＞

１．高密度・不揮発 CAM チップの試作と評価　MTJ 素子活用により不揮発記憶機能と検索機能が一体化された 1T-1MTJ 構成の Binary CAM（BCAM）セルを考案した．提案セルは CMOS 構成の従来セルと比較して 1/9 のトランジスタ数で構成されており，セルアレイの高密度化と不揮発化を同時に実現できる．本年度は本セルを用いて細粒度パワーゲーティング機能付きビットシリアル・アーキテクチャに基づく BCAM チップを 0.14 μm CMOS/MTJ プロセスにより試作し，その基本動作を実証した．

２．PVT ばらつき補正機能付き不揮発性 LUT 回路の実現　大規模不揮発性 FPGA (Field-Programmable Gate Array)を実現するには, PVT (Process-Voltage-Temperature)ばらつきに対するロバスト性を実現することが重要である．本年度は，FPGA の基本構成要素である LUT 回路について，冗長な MTJ 素子を CMOS 回路上に配置することで回路の論理しきい値のばらつき補正を少ない面積オーバヘッドで実現し，かつその補正状態を不揮発に保持する技術を考案した．また，本提

案技術に基づく 2 入力 LUT 回路を 90nm CMOS/MTJ プロセスにより設計・試作を行い，その基本動作を確認した．

3．電流監視方式に基づく断線故障検出手法の提案　非同期ネットワークオンチップの高信頼化には，ルータ間をつなぐリンクの信頼性を向上させることが鍵となる．本研究では，ルータ間を接続するリンクを電流モード転送で構成し，その入力側の電流量を監視することで断線故障のみを遅延仮定なしで検出する手法を提案した．提案手法に基づく転送回路は，既存のリンク高信頼化（3 重化＋多数決素子）に基づく転送回路と比較してトランジスタ数 77%，配線数 33%と小面積であるにも関わらず，スループット，消費エネルギーにおいてそれぞれ 135%，57%を達成した．

＜職員名＞

教　授　：羽生貴弘（2002 年 4 月より）　　助　教　　：松本　敦（2007 年 4 月より）
助　教　：夏井雅典（2008 年 4 月より）　産学官連携研究員　：鬼沢直哉（2009 年 4 月より）

＜教授のプロフィール＞

1984 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒，1989 年 3 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了．同年同大学工学部助手，1993 年 2 月同助教授，2002 年 4 月同大学電気通信研究所教授，現在に至る．不揮発性ロジック，多値 VLSI 技術とそのマルチメディア応用 VLSI コンピューティングに関する研究に従事．IEEE 多値論理国際シンポジウム優秀論文賞(1986, 1988)，丹羽記念賞(1988)，坂井記念賞(2000)，LSI デザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞(2002)，ASP-DAC2007 Special Feature Award(2007)，応用物理学会 JJAP 論文賞(2009)，電子情報通信学会優秀論文賞(2010)，市村学術賞貢献賞(2010)を受賞．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Matsunaga, M. Natsui, K. Hiyama, T. Endoh, H. Ohno and T. Hanyu, “Fine-Grained Power-Gating Scheme of a Metal-Oxide-Semiconductor and Magnetic-Tunnel-Junction-Hybrid Bit-Serial Ternary Content-Addressable Memory,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, No.2, 04DM05-1--04DM05-5, 2010.

[2] H. Shirahama, T. Matsuura, M. Natsui, and T. Hanyu, “Energy-Aware Multiple-Valued Current-Mode Sequential Circuit Using a Completion-Detection Scheme,” IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E93-D, No.8, pp.2080-2088, 2010.

[3] N. Onizawa, T. Hanyu, “Highly Reliable Multiple-Valued One-Phase Signalling for an Asynchronous On-Chip Communication Link,” IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E93-D, No.8, pp.2089-2099, 2010.

[4] M. Natsui, T. Arimitsu and T. Hanyu, “Low-Energy Pipelined Multiple-Valued Current-Mode Circuit with 8-Level Static Current-Source Control,” Proc. 40th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp.235-240, 2010.

[5] A. Matsumoto, N. Onizawa and T. Hanyu, “One-Color Two-Phase Asynchronous Communication Links Based on Multiple-Valued Simultaneous Control,” Proc. 40th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp.211-216, 2010.

[6] N. Onizawa and T. Hanyu, “A High-Throughput Protocol Converter Based on an Independent Encoding/Decoding Scheme for Asynchronous Network-on-Chip,” Proc. 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp.157-160, 2010.

[7] N. Onizawa, T. Tomoyoshi, A. Matsumoto and T. Hanyu, “Accurate Asynchronous Network-on-Chip Simulation Based on Delay-Aware Model,” Proc. 2010 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, pp.357-362, 2010.

[8] D. Suzuki, M. Natsui, H. Ohno,and T. Hanyu, “Design of a Process-Variation-Aware Nonvolatile MTJ-Based Lookup-Table Circuit,” 2010 International Conference on Solid-State Devices and Materials, Workshop, pp.1146-1147, 2010.

[9] S. Matsunaga, M. Natsui, H. Ohno, and T. Hanyu, “Power-Aware Bit-Serial Binary Content-Addressable Memory Using Magnetic-Tunnel-Junction-Based Fine-Grained Power-Gating Scheme,” 2010 International Conference on Solid-State Devices and Materials, Workshop, pp.565-566, 2010.

[10] N. Onizawa, A. Matsumoto, and T. Hanyu, “Interconnect-Fault-Resilient Delay-Insensitive Asynchronous Communication Link Based on Current-Flow Monitoring,” Design, Automation & Test in Europe (DATE'11), 2011.

３．８　２１世紀情報通信研究開発センターの目標と成果

産学官連携による実用化技術の研究開発
～モバイルとストレージ～

＜センターの目標＞

電気通信研究所がこれまでに蓄積してきた情報通信技術（IT）に関する実績を，産学官連携研究開発体制により，5 年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的とする．大学の保有する基本技術をコアとして，社会が求めるアプリケーションとマッチングをとり，設計・実装・評価まで行うことで，製品化へ適応可能な実用化技術を完成させる．プロジェクトの推進には，産業界からの技術者を多く受け入れ，大学の保有する先端技術，先端設備を研究開発現場にて体験することで，若手技術者の教育・社会人技術者の再教育センターとしての役割を果たす．また，開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出とベンチャー企業の創出・育成などにより，日本全国並びに東北大学地区の産業振興に貢献し，日本の IT バレーとしての地位を確立する．

＜2010 年度の主な成果＞

現在は，2 プロジェクト体制とし，センター専任としてモバイル分野・ストレージ分野を設置し，民間からプロジェクト担当教授を招聘した．平成 14 年度から平成 18 年度まで，文部科学省 IT プログラム（RR2002）のプロジェクトとして，「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し，研究開発を進めてきたが，平成 19 年度からはこれらの研究成果をさらに発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」と「超高速大容量ストレージシステムの開発」を実施している．各プロジェクトの概要と平成 22 年度の成果を以下に示す．

１．ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発

平成 19 年度に JST の CREST タイプ研究「ディペンダブル VLSI システムの基盤技術」に対して，新規プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」を提案し，採択された．提案プロジェクトは，ディペンダビリティの高い広域・超高速ワイヤレスネットワークである Dependable Air の実現を目指している．平成 24 年度までの研究期間の中で，複数の無線通信システムを統合し，伝送距離・通信速度・消費電力・QoS の最適制御を行うことが可能となる無線通信端末である DWS（Dependable Wireless System）の実現を目指す．本年度は主に，(1) オールシリコン CMOS による送信器・受信器用 RF IC の高性能化の検討，(2) 広帯域周波数領域等化 （FDE）ASIC を用いたシングルキャリア通信方式の評価，(3) 方式ごとに適応的にビット幅を切り替える電流モード・低消費電力パイプライン型スケーラブル ADC の実装・評価などを行った．

２．超高速大容量ストレージシステムの開発

本分野では，平成 19 年度から，文部科学省からの受託研究「超高速大容量ストレージシステム」を，

本研究所（村岡研究室) ならびに学内の研究室と，国内ハードディスクドライブメーカー等を結集した産学連携により実施している．ここでは，超テラビット毎平方インチ級の次世代垂直磁気記録の要素技術開発と，超高速ストレージサブシステムのための予知型 2 次元データ配置技術方式により，記録密度と消費電力の限界を打破し，2011 年に現状の 1/20 以下の消費電力/記憶容量比を達成すること等を目標としている．平成 22 年度は，スタティックテスタを用いた次世代ナノパターン媒体の記録再生特性の評価（記録マージン損失)，要素技術開発（$L1_0$-FePt 規則合金の低温形成成功，他)，新規省電力サブシステム技術の方式実証（電力 1/2 に加えた高速データ転送性能化）等，予定通り進捗している．

＜職員名＞

センター長・教授　村岡　裕明

企画開発部

客員教授	古西　　真

研究開発部

モバイル分野

客員教授	坪内　和夫
客員教授	高木　　直

ストレージ分野

教　授	藤本　和久
客員教授	青井　　基
准教授	島津　武仁
客員准教授	山川　清志

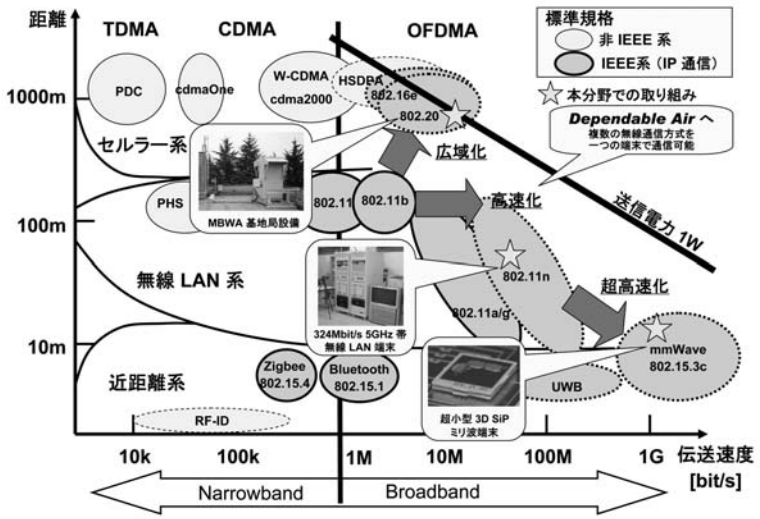
運営委員

本研究所教授	村岡　裕明	大学院工学研究科教授	安達　文幸
	藤本　和久		川又　政征
	長　　康雄	大学院情報科学研究科教授	加藤　　寧
	末松　憲治	本研究所事務長	佐藤　　巖
	鈴木　陽一		
	外山　芳人		
	大野　英男		
	羽生　貴弘		

IT21センター モバイル分野

ディペンダブル・エアの実現へ向けて

図面説明:
ディペンダブル・エア
現在規格化されている無線通信システムの通信速度と通信距離の関係を示したものである．通信距離に応じて，広域系・無線 LAN 系・近距離系の三種類のシステムが存在する．ユーザ端末には，電池の容量や人体への影響から 1W の送信電力制限があると考えると，2GHz 帯では図中の線のように通信距離と伝送速度との間にトレードオフが存在し，各々のシステムの高速化には限界が存在する．当分野では，これら複数のシステムを統合することによって，最適な通信距離・伝送速度で通信を行うことができるような小型・低消費電力無線通信端末の実現を目指す．



客員教授　坪内 和夫
客員教授　高木　　直

＜研究室の目標＞

JST CREST タイプ研究プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」(研究期間: 平成 19～24 年度) により，ディペンダブル・エアを実現するための無線通信端末の構成要素 DWS 技術の研究開発を行う。特に，本研究課題では，以下の要素技術開発を中心に行う。

1. オールシリコン CMOS による RFIC (Radio Frequency IC)
2. 周波数領域等化技術による伝搬路・デバイス特性補償回路
3. 適応スケーラブル ADC/DAC (Analog-Digital Converter/Digital-Analog Converter)

＜2010 年度の主な成果＞

１．　ミリ波帯近距離・広帯域通信のための RF 要素回路の研究

家電ネットワークへの応用を目指し、ミリ波帯無線通信端末用の RF 要素回路の研究をおこなった。本年度は 90nm シリコン CMOS プロセスを用いて 60GHz 帯の高耐電力 T/R スイッチの設計・試作を行った。その結果、36GHz において出力電力 31.8 dBm であっても線形な結果が得られた。

２．　適応スケーラブル ADC/DAC

低電圧でも信号振幅を確保できるオペアンプレスの高速 SI（switched current）型 S/H（sample and hold）を用いた電流モードパイプライン型 ADC の研究を行った。90nm シリコン CMOS プロセスで 5bit 1GS/s ADC を試作し、実測評価を行った結果、1GS/s の高速動作を実証した。

＜職員名＞

客員教授　坪内 和夫（2010 年より）
客員教授　高木　 直（2010 年より）
技術補佐員　中山 英太　　秘　書　橋浦 尚子

＜プロフィール＞

坪内 和夫　1974 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。1974 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。1982 年 4 月～10 月米国パーデュ大学客員助教授。1983 年 3 月助教授。1993 年 3 月教授、2010 年 4 月名誉教授・客員教授。1983 年服部報公賞、1994 年第 26 回市村学術賞貢献賞、1996 年第 11 回電気通信普及財団賞 (テレコムシステム技術賞)、1997 年第 22 回井上春成賞、2003 年東北総合通信局長「電波の日」表彰、2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞、2005 年度電子情報通信学会業績賞、第 5 回産学官連携功労者表彰「文部科学大臣賞」受賞。日本物理学会、応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、日本エレクトロニクス実装学会、IEEE 会員。

高木　 直　1973 年 3 月東京工業大学理学部物理学科卒業。1995 年静岡大学・博士（工学）取得。1973 年三菱電機 (株)入社。以来、マイクロ波・ミリ波帯 MMIC 及び半導体高出力増幅器の研究開発に従事。2005 年より東北大学電気通信研究所教授、2010 年客員教授。広帯域無線通信システムの研究に従事。IEICE、IEEE 会員。

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Issue of IEEE 802.20 Vehicular-A Delay Profile Model on Estimating Received Signal Level Variation of Wideband Signal,” 4th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2010, Mo-55, April 2010.

[2] S. Yoshida, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Radiation Characteristics of a Planar Monopole Antenna Integrated with a 60GHz Band WPAN Module Using Organic Substrates,” 4th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2010, C33P1-5, April 2010.

[3] H. Oguma, S. Kameda. N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Coverage Estimation of Uplink 16 QAM Signal up to 20 MHz Bandwidth Based on Field Trial Results of FH-OFDMA System,” IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2010 (WCNC2010), Sydney, Australia, April 2010.

[4] T. T. Ta, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, “A 5 GHz Band Low Noise and Wide Tuning Range Si-CMOS VCO with a Novel Varactors Pair Circuit,” IEICE Trans. on Electronics, Vol.E93-C, No.6, pp.755-762, June 2010.

[5] S. Yoshida, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, “5-GHz Band 3-Stacked Meander Line Antenna Using Multi-Layered Organic Substrates,” 2010 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and CNC/USNC/URSI Radio Science Meeting, IF314.9, Toronto, Canada, July 2010.

[6] 吉田 賢史, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, “有機樹脂基板を用いた 60 GHz 帯超小型 WPAN モジュール用アンテナの基礎的検討,” 信学論, Vol.J93-B, No.6, pp.822-831, June 2010.

[7] T. T. Ta, S. Oshima, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A Constant Envelope Modulation Method Using Orthogonal Frequency Allocated Multi-Carrier MSK for Broadband Wireless System,” Third International Conference on Communications and Electronics (ICCE 2010), August 2010.

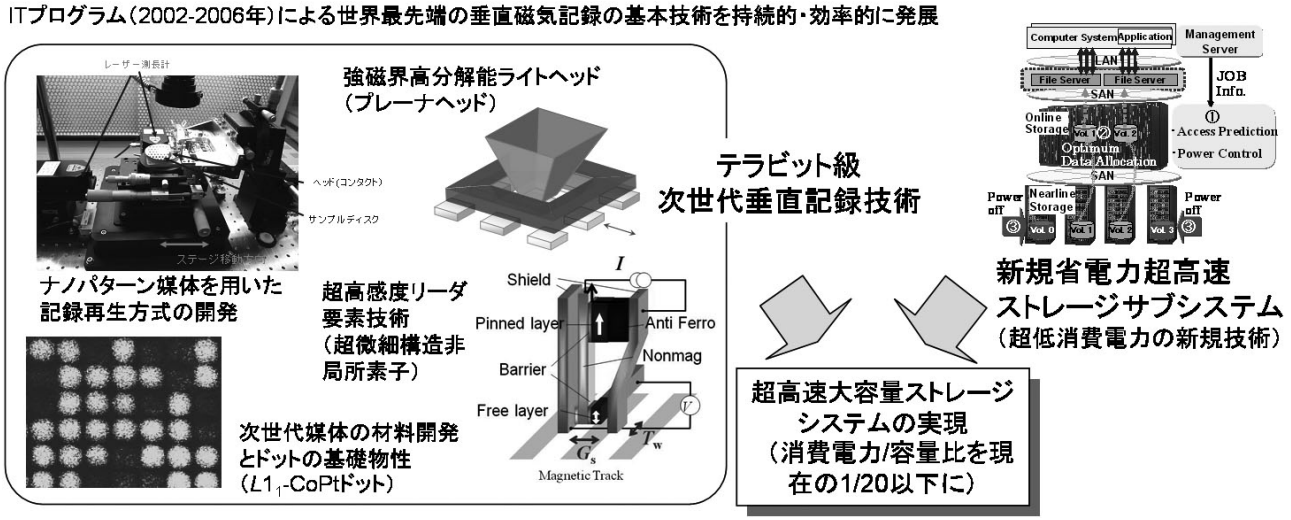
[8] S. Yoshida, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “60-GHz-Band Planar Slot Antenna Using Organic Substrates for Ultra-Small WPAN Modules,” Third International Conference on Communications and Electronics (ICCE 2010), August 2010.

[9] S. Tomita, Y. Miyake, I. Kashiwamura, K. Komatsu, N. H. Tran, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Hybrid Single-Carrier and Multi-Carrier System: Improving Uplink Throughput with Optimally Switching Modulation,” Proc. 21st Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC2010), Sept. 2010.

[10] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Measured Downlink Throughput Performance of Mobile Broadband Wireless Access System in Suburban Area,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), FR1C-3, Yokohama, Dec. 2010.

研究開発部 ストレージ分野

Tb/in^{2}級超高速大容量ストレージシステムの開発



教　授　藤本 和久
准教授　島津 武仁

＜研究室の目標＞

情報爆発の時代を迎え，情報ストレージデバイスとしてのハードディスクドライブの大容量化，高速化の実現が強く求められている．本分野では，平成 18 年度までの 5 年間，IT プログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」を文部科学省から産学連携で受託し，世界最高密度の超小型垂直磁気ハードディスクの実現等により垂直磁気 HDD の実用化・高密度化に貢献した．平成 19 年度からは，これらの研究成果をさらに発展させた「超高速大容量ストレージシステム」の研究開発を，本研究所（村岡研究室）ならびに学内の研究室と，国内ハードディスクドライブメーカー等を結集した産学連携により実施している．ここでは，超テラビット毎平方インチ級の次世代垂直磁気記録の要素技術開発と，新規省電力超高速サブシステムの開発により，記録密度と消費電力の限界を打破し，2011 年に現状の 1/20 以下の消費電力/記憶容量比を達成すること等を目標としている．

＜2010 年度の主な成果＞

１．テラビット級次世代垂直記録の要素技術開発

各要素技術の研究開発を平成 21 年度に引き続き実施しながら，2Tbits/inch^2 の実用化に向けた各要素技術のブラッシュアップ（性能向上）を継続すると共に，5 Tbits/inch^2 に向けた基本要素技術の絞込みと再選択を実施した．特に，記録方式の開発では，ナノパターン媒体と熱アシスト記録を組み合わせた方式により 5 Tbits/inch^2 達成の可能性をシミュレーションにより示した．更に，スタティックテスタを用いた次世代ナノパターン媒体の準静的な記録再生特性の評価実験を実施し，記録ドットにマルチドメインが生じると記録マージンに損失を生じるものの，ドット径の低減

にともない同損失は急激に減少することを示した．また，材料開発と物性解明に関する開発では，次世代ナノパターン垂直媒体に用いる $L1_0$-FePt 規則合金の低温形成（200～350℃）に成功し，そのテラビット級垂直磁化ドット（ドット径 10～15 nm）の磁気特性の評価により同薄膜が優れた構造均質性を有することを明らかにした．更に，同形成技術を用いて熱アシスト記録を主目的とした $L1_0$-FePt 垂直グラニュラ媒体（2.5 インチディスク，軟磁性裏打ち層付き）の形成に成功した．

２．新規省電力超高速サブシステム

サブシステムの基本方式については，これまで達成した 50%の省電力化に加えて高速のデータ転送性能を実現できるように予知型 2 次元データ配置技術のアルゴリズムの改善と動作性能向上の検討を行った．特に、データの利用形態に起因する負荷の偏りによる転送性能低下の影響についてシミュレーションによる解析を行うとともに，負荷の偏りを緩和するアルゴリズムを提案してシミュレーションでその効果の検証を行った．

＜職員名＞

教　　授　藤本 和久（2007 年より）
客 員 教 授　青井　基（2002 年より），中村 慶久（2007 年より）
准　教　授　島津 武仁（2002 年より）
客 員 准 教 授　山川 清志（2002 年より）
産学連携研究員　小川　晋，嵯峨 秀樹，山田 将貴，赤池 洋俊，大沢 裕一，片岡 弘康，井上 大輔
共 同 研 究 員　工藤 幸司，中田 仁志，大場 健司，松下 浩二
技 術 補 佐 員　魚本　幸
秘　　書　佐藤 安由美，穴澤 知美

＜プロフィール＞

藤本和久　1985 年九州大学工学部電気工学科卒業. 1987 年同大学院修士課程修了. 工学博士. 1987 年(株)日立製作所入社，中央研究所．2000 年同主任研究員．2002 年同システム開発研究所主任研究員．2007 年同主管研究員．2007 年東北大学電気通信研究所 21 世紀情報通信研究開発センター教授．情報ストレージサブシステムのシステムアーキテクチャの研究開発に従事．

島津武仁　1986 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒業．1988 年 3 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程前期 2 年の課程修了．博士（工学，東北大，1994 年 2 月）．1988 年 4 月同大学工学部助手．1995 年 9 月オランダ・トゥエンテ大学客員研究員．1998 年 4 月東北大学電気通信研究所助手．2002 年 4 月同准教授，現在に至る．超高真空技術を用いた高性能磁性薄膜の開発とストレージデバイスへの応用，ウエハ室温接合技術等の研究開発に従事．

＜2010 年度の主な発表論文等＞

[1] H. Akaike, K. Fujimoto, K. Miura, and H. Muraoka, “Performance evaluation of energy-efficient high-speed tiered-storage system,” Proceedings of INDIN 2010, 663-670 (2010).
[2] T. Shimatsu, Y. Inaba, H. Kataoka, J. Sayama, H. Aoi, S. Okamoto, and O. Kitakami, “Dot arrays of $L1_0$ type FePt ordered alloy perpendicular films fabricated using low-temperature sputter film deposition,” *Journal of Applied Physics*, vol. 109, 07B726(1-3) (2011).
[3] H. Saga, K. Shirahata, K. Mitsuzuka, T. Shimatsu, H. Aoi, and H. Muraoka, “Experimental write margin analysis of bit patterned media,” *Journal of Applied Physics*, vol. 109, 07B721(1-3) (2011).
[4] T Shimatsu and M. Uomoto, “Atomic diffusion bonding of wafers with thin nanocrystalline metal films,” *Journal of Vacuum Science and Technogoly B*, vol. 28, 706-714 (2010).，他

３．９　安全で快適な環境の実現と維持による研究支援



安全衛生講習会



応急手当講習会

＜安全衛生管理室の概要＞

安全衛生管理室は研究所で働く職員や学生の安全と健康を維持することを目的とした組織である。研究所における研究活動においては、薬品、高圧ガス、放射線などが使われており、危険性を伴う作業が少なくない。安全衛生管理室では所内での研究活動が安全かつ円滑に行われるように、各種活動を通して研究室や実験施設、研究基盤技術センターの安全衛生管理のサポートを行っている。

＜研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割＞

研究所の組織は、管理組織である所長および教授会、研究活動を行っている各研究室、その支援組織である実験施設や研究基盤技術センターおよび事務機構からなる。所長および教授会が研究所全体の運営管理をおこない、個々の研究室および施設等の運営管理は管理担当者である教授、運営委員会などが行っている。研究所の安全衛生管理においては、所長、研究所の職員、産業医から構成される安全衛生委員会が所内の安全衛生管理体制の整備や安全衛生に関するさまざまな事項を審議し、所長および教授会に勧告を行う。所長および教授会は勧告の内容にしたがって方針を決定し、各研究室、施設などが安全衛生管理の実際の作業を行うことになる。安全衛生管理室はこれら組織との連携の下に安全衛生に関する実務を担当し、研究所での研究活動が安全かつ快適に行われるよう活動している。

＜安全衛生管理室の活動内容＞

所内での実際の安全衛生管理では、まず安全衛生委員会が研究所における安全管理の基本的方針を示し、次に安全衛生管理室がそれに基づく具体的な行動内容の策定と実行を行っている。大学の組織は各部署（研究室など）の独立性が高いために、通常の会社組織と異なりトップダウン型の安全管理は不向きであり、各部署の自立性に即した対応が必要である。また、教職員以外に学生、研究員などさまざまな形で研究活動に携わっている構成員に対する配慮が必要である。さらに、本研究所では、薬品、高圧ガス、Ｘ線装置などの

安全衛生管理室

危険性の高い材料、設備を使用しており、作業環境もクリーンルームなどの特殊な作業場が存在するために、これらに対応した安全管理が必要になる。したがって、安全衛生管理室では、所内の各部署における状況や特性を把握し、実態に即した管理方法や改善対策の策定と勧告、および実行の支援を行い、安全衛生管理を効率的かつ実効性のあるものにするために活動している。本年度における主な活動内容は以下の通りである。

○ 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会・高圧ガス保安講習会の開催。
○ 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援。
○ 局所排気装置の定期自主点検の支援。
○ 応急手当講習会の開催。
○ 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集。
○ 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供。
○ 学内の他部局や監督官庁との連絡調整。
○ Ｗｅｂページによる関連情報の提供。

＜職員名＞

室　　長（教授）	庭野　道夫
副 室 長（教授）	上原　洋一
助　　教	佐藤　信之
事務補佐員	千葉　綾子

３．１０　やわらかい情報システムの研究開発と所内情報システムの管理運用

＜センターの目標＞

現在のコンピュータに代表される情報システムは，前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである．本センターにおける研究の目標は，これまでの「かたい」情報処理原理を超えて，人間の意図や環境に適合した柔軟な情報処理を行い，さらに視聴覚などの多元知覚情報をフルに生かすことによって柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の原理について，理論及び実験を通して明らかにし，そのシステム構成論を確立することである．

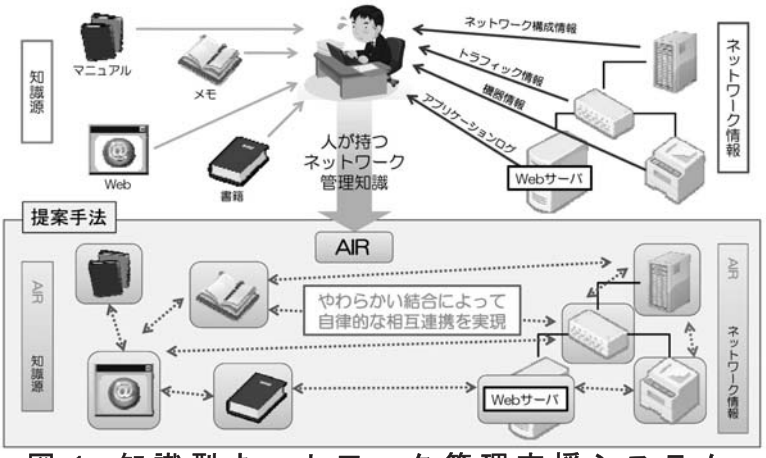


図１　知識型ネットワーク管理支援システム

更に，学術情報の高度な組織化，利用，管理・運用，発信などのためのやわらかい分散システムの研究を行い，成果を通研所内の学術情報とネットワークの実際面への適用を通して手法の有効性を確認し，その構成論の確立を目指している．

＜研究テーマ＞

(1) 情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境に関する研究
(2) ネットワークの高度な保守・管理・運用に関する研究
(3) 生体の知覚情報処理及び知的ユーザインタフェースに関する研究
(4) 科学技術と倫理に関する研究

＜2010 年度の主な成果＞

(1)安全・安心なオーバーレイネットワークに関する研究(研究テーマ１に関連)

オーバーレイネットワークは，様々なネットワーク機能を簡易に実現し，迅速に展開する手段として極めて有用である．しかしながら，信頼できないホストとのP2P接続によるセキュリティ上のリスクの増大など，運用やセキュリティ面での問題をもたらしている．そこで我々は，大規模オーバーレイネットワークのためのスケーラブルな分散認証手法の開発を行っている．本年度は文献1,2に示す成果が得られた．

(2)知的なネットワーク管理支援に関する研究(研究テーマ２に関連)

管理業務に必要な情報や知識を能動的に活動させ連携・協調させることにより，管理者にかかる作業労力の負荷を軽減し迅速かつ正確な障害への対処を実現する研究として，エージェント型のネットワーク管理支援システムやネットワークの長期的なデータ収集・蓄積システムを開発している．図1に，開発中の知識型ネットワーク管理支援システムを示す．本年度は文献3,4,5に示す成果が得られた．

(3) 知的ユーザインタフェースに関する研究(研究テーマ３に関連)

やわらかい情報システムにおける利用者の自然な利用形態を促進させる研究として，実空間とディジタル空間の両者を親和的に融合する，開放型協働作業環境に関連する研究を行っている．本年度の研究成果として，文献6に示す成果が得られた．

＜職員名＞

(1) 運営委員会

教授　鈴木 陽一（2000年より）　外山 芳人（2000年より）木下 哲男（2000年より）
　　白井 正文（2003年より）　大堀 淳（2007年より）

(2) 実施委員会

教授　外山 芳人（2007年より）木下 哲男（1997年より）
　　菅沼 拓夫（2010年より，ｻｲﾊﾞｰｻｲｴﾝｽｾﾝﾀｰ所属）
准教授　青戸 等人（2003年より）青木 輝勝（2009年より）岩谷 幸雄（2010年より）
　　北形 元（2007年より）
助教　吉田 真人　小野美 武　笹井 一人
教育研究支援者　長田 俊明（2010年まで）　ヨハン スベホルム（2010年より）
研究支援推進員　鈴木 みどり　長瀬 祥子

(3) 常勤職員

准教授　北形 元（2007年より）
助教　笹井 一人
教育研究支援者　長田 俊明（2010年まで）　ヨハン スベホルム（2010年より）
研究支援推進員　鈴木 みどり，長瀬 祥子

＜教授のプロフィール＞

センター長・鈴木陽一教授のプロフィールは，先端音情報システム研究分野を参照.

実施委員長・外山芳人教授のプロフィールは，コンピューティング情報理論研究分野を参照.

＜2010年度の主な発表論文等＞

1. 橋本和夫，北形元，高橋秀幸，武田敦志，チャクラボルティデバシシュ，白鳥則，”Socio-familiar Personalized Service の提案とその応用”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J94-B, No.4, pp.492-502, 2011. **（招待論文）**
2. Kazuo Hashimoto, Gen Kitagata, Hideyuki Takahashi, Atushi Takeda, Debasish Chakraborty and Norio Shiratori, “Socio-familiar Personalized Service and its Application —Towards a New Network Software for Next Generation Ubiquitous Service—, Proc. of the 10th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2011), 2011. **(Invited)** (to be published)
3. Kazuto Sasai, Naoyuki Tanji, Yusuke Takahashi, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “An Architecture of Extended Network Management System: Autonomous Cooperation between Knowledge Resource and Network Equipments”, Proc. of IEEE/ACIS 9th International Conference on Computer and Information Science (ICIS2010), pp. 617-622, 2010.
4. Yusuke Takahashi , Daisuke Misugi , Akira Sakatoku , Akihiro Satoh , Akiko Takahashi, Kazuto Sasai , Gen Kitagata , Toru Abe, Tetsuo Kinoshita, “Knowledge Oriented Network Fault Resolution Method Based on Active Information Resource”, Proc. of IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT2010), No. 2, pp. 361-364, 2010.
5. Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Mutiagent Architecture of Knowledge based Network Management Support System”, Proc. of 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, pp. 782-787, 2010.
6. Akira Sakatoku, Akifumi Kawato, Toshiaki Osada, Gen Kitagata, Norio Shiratori and Tetsuo Kinoshita, “3D Symbiotic Environment for Agent-aided Collaborative Work”, Journal of Internet Technology, 2011. (to be published)

３．１１　高度な専門知識と技術に基づいた研究支援

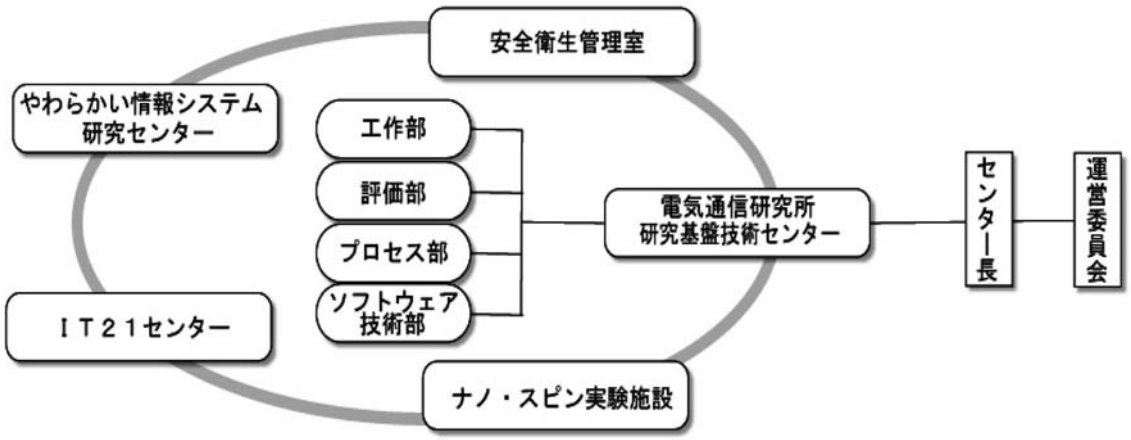
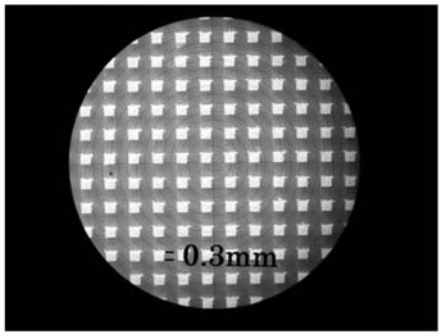


図　研究基盤技術センター　概略図



顕微分光用クライオスタット



ドットパターンスタンプ

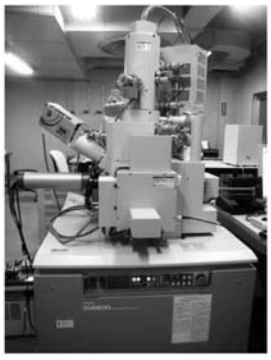
写真　工作部の主な製作品



電子ビーム蒸着装置



収束イオンビーム加工装置



電子ビーム蛍光Ｘ線元素分析装置

写真　プロセス部保有の加工装置および評価部保有の分析装置

＜分野の目標＞

研究基盤技術センターは高度な専門知識・技術に基づいて、所内の研究に密着した研究支援を行うセンターである。最先端の研究や技術を創製し、社会に還元することは大学の大きな役割の一つであり、その役割を果たすために高度な知識と技術を育成・継承できる体制の維持・充実が求められている。本センターではこの理念の下、工作部・評価部・プロセス部・ソフトウェア技術部の４部を設置し研究支援を行っている。

＜2010 年度の主な成果＞

１．工作部

工作部では、これまでに数々の新しい工作方法を開拓し、特殊な機器や各種超高真空容器などの精密工作を行い、半導体表面・界面の微細構造の解析、高密度磁気記録の研究をはじめ、数々の高度情報通信に関わる研究に貢献してきた。本年度、各研究室からの制作依頼は 162 件（内、所内 153 件）であった。各研究室の製作数は以下の通りである（製作数順）。

ナノ分子デバイス研究室：47 件、量子光情報工学研究室：28 件、固体電子工学研究室：17 件、ナノ・スピン共通部：13 件、先端情報通信領域創成研究室：12 件、ナノフォトエレクトロニクス研究室：12 件、先端音情報システム研究室：9 件、NICHE 横山研究室：8 件、半導体スピントロニクス研究室：3 件、超高速光通信研究室：2 件、超ブロードバンド信号処理研究室：2 件、応用量子光学研究室：2 件、IT-21 センター研究開発部ストレージ分野：2 件、事務部：2 件、IT-21 センター研究開発部モバイル分野：1 件、評価部：1 件、工学研究科 光波物理工学研究室：1 件

２．評価部

評価部では共通計測機器の提供を行っている。昨年度は 17 研究室の利用があり、総利用時間は 3462 時間であった。ガラス工作の提供と寒剤の供給も行っている。8 件のガラス工作依頼があり、3400 リッターの液体窒素を供給した。

３．プロセス部

プロセス部では、評価部と協力して、プロジェクトクリーンルームの運営にあたっている。プロセスのための各種機器がクリーンルーム内に設備されている。昨年度は、10 研究室がクリーンルームを利用した。3 研究室からの求めに応じ、13 件の誘電体多層膜光学素子の製作・供給を行った。電子ビーム露光サービスの準備作業を行い、完了した。

４．ソフトウェア技術部

ソフトウェア技術部では、やわらかい情報システム研究センターと協力して、所内および付属研究施設の情報システムの運用と管理を行った。

＜職員名＞

センター長（教授）	上原　洋一
助　　教	佐藤　信之
技術職員	齋藤　文孝、寒河江　克巳、庄子　康一、末永　保、佐々木 龍太郎、阿部　真帆、佐藤　圭祐、阿部　健人、渡邉　博志、菅原　宗朋、今野　勇治、米澤　隆二、土田　貞夫、田久　長一、我妻　成人

第　4　章　　独創的研究支援プログラム

窒化物半導体によるミリ波用トランジスタの研究

末光 哲也（極限高速電子デバイス研究分野）

１．はじめに

情報通信の大容量化・高度化に伴い，ミリ波，更にはサブミリ波帯で動作する電子デバイスには動作周波数と共に，高耐圧への要求も大きくなっている。一般にこれらの周波数帯に応用されているインジウム燐（InP）系デバイスは，耐圧が低いという欠点がある。この現状を打破する手段として，高耐圧特性に優れ，かつマイクロ波帯への応用が既に進んでいる窒化物（GaN）系半導体を用いた高電子移動度トランジスタ（HEMT: High Electron Mobility Transistor）をミリ波等，更なる高周波帯域へ拡張することが考えられる。

GaN 系材料は電子の飽和速度が高いため，材料特性の見地から高周波特性にとって有利であることが知られている。反面，電子移動度が 1500cm²/V.s 程度と GaAs に比べて低いため，効果的に電子を加速させるためのデバイス構造が他の材料系以上に求められる。これまで GaN 系 HEMT では，トランジスタの遮断周波数は約 200GHz にとどまっている。ミリ波帯の中でも今後の研究領域として重要になってくるであろう 100GHz 以上の帯域への応用を考えると，最大発振周波数で 300GHz 以上を実現することが望まれる。

以上の背景から，本研究では GaN 系 HEMT において最大発振周波数(fmax)で 300GHz 以上を実現し，また，トランジスタのオフ状態耐圧(BVoff)との積，fmax・BVoff において InP 系 HEMT を上回る特性を実現することを目的とする。

２．実験

研究プログラムの初年度である平成 22 年度は，まず第 1 に当研究グループにて GaN 系 HEMT を形成するためのプロセス要素技術を確立することを目的とした。このため GaN 系 HEMT として一般的な AlGaN/GaN ヘテロ層構造を持つ結晶について，加工（エッチング）技術，及び，電極形成技術の検討を行った。エッチングについては，塩素系ガスを用いた ICP-RIE（Inductive Coupled Plasma Reactive Ion Etching)を用いて，GaN 系 HEMT の素子間分離に十分な 100nm 程度のエッチングを行うための最適条件を求めた。電極形成については，Ti/Al 金属を堆積した後，600ー800℃の RTA（Rapid Thermal Annealing）を行い，接触抵抗が極小となる昇温条件を求めた。これらの要素技術を元に，ゲート長 1μm の GaN 系 HEMT 作製プロセスのテストドライブを行った。

第 2 に本研究の独自技術として，T 型ゲート電極形成法を検討した。ミリ波帯等の高周波領域では，ゲート抵抗が HEMT の最大発振周波数の律速要因となる。このためゲートを微細化に伴うゲート抵抗の増加を抑える手法として T 型ゲート電極を用いることが一般に行われている。これまで T 型電極の形成は 3 層以上の異なる種類のレジストを積層して T 字の頭部と脚部の寸法を制御する手法が主であった。しかしこの方法では T 型電極の断面形状を詳細に制御することが困難であった。一方でゲート長の微細化に伴い，T 型電極頭部が作る寄生容量がトランジスタの遮断周波数を律速する要因となることを，我々は確認している。このため，より細やかに T 型ゲート電極の断面形状を制御することを目的とした，新たな電極形成プロセス技術を提案した。具体的には，多層レジストを用いる代わりに，試料上にエッチング特性が異なるシリコン窒化膜（SiN）を連続的に堆積してゲート断面形状に加工した「鋳型」を作製して電極金属を流し込む手法を用いた（図 1)。SiN の堆積手法は，原料として HMDS（ヘキサメチルジシラザン）と水素，及び，アンモニアを用い，水素とアンモニアの混合比によって成膜される SiN への炭素の含有率が変わってくるため，エッチング特性が異なる SiN 膜が生成できる。

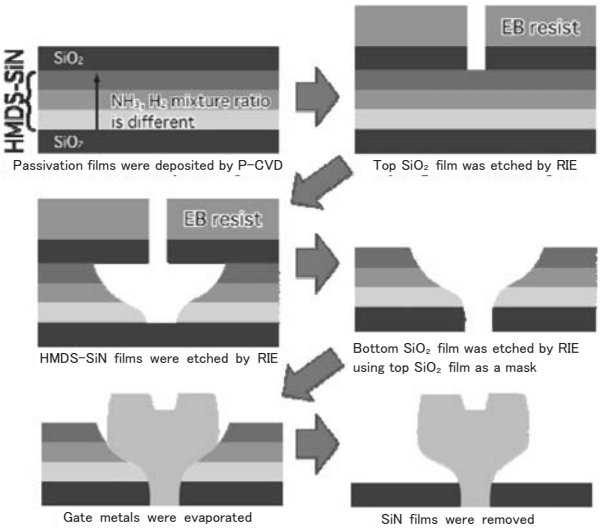


図 1. SiN 鋳型を用いた T 型ゲート形成の流れ

３．結果

3.1. GaN 系 HEMT

図２に試作したゲート長 1μm の GaN 系 HEMT の電気特性の評価結果を示す。ピンチオフや電流飽和において良好な特性が得られており，素子間分離や電極形成のプロセスの有効性を確認できた。また試料有効領域に含まれる素子の殆どで同様の電気特性を確認した。最大ドレイン電流密度は 300 mA/mm，最大相互コンダクタンスは 100 mS/mm である。今後ゲート長や電極間隔を微細化することによってこれらの特性の向上を図る。

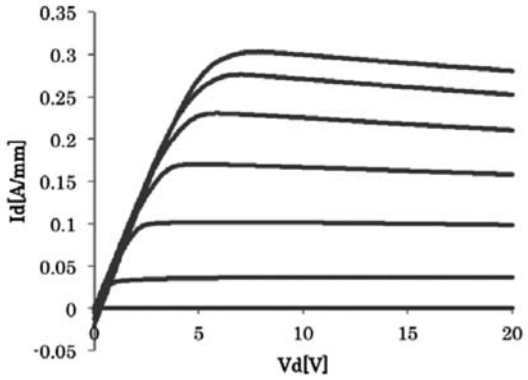


図 2. 試作した GaN 系 HEMT の電気特性（ゲート電圧は上から４V から−２V まで１V 刻み）

3.2. SiN 鋳型による T 型ゲート電極

提案した T 型ゲート電極形成手法を InP 系 HEMT に適用した。ゲートのパターンを電子線露光装置により形成し，ドライエッチングによって SiN 鋳型に転写した。その際，エッチング速度の違いを反映した横方向へのエッチングの広がりによってゲート電極の断面形状が定義される。実験では，図３に示すように形状１と２で異なる水素/アンモニア混合比プロファイルで 400nm の SiN 鋳型を堆積した。得られた T 型電極の断面形状は、図３に示すようにそれぞれの鋳型の形状を反映した異なる断面形状を示している。ゲート長 180nm の HEMT について特性評価を行ったところ，真性相互コンダクタンスは形状 1 で 743 mS/mm，形状 2 で 771 mS/mm とほぼ同等の特性を示した。一方で電流利得遮断周波数（fT）は形状１で 130 GHz，形状２で 150 GHz であり，最大発振周波数（fmax）は形状１で 130GHz，形状２で 220GHz と，いずれも形状２の方が高い特性を示した。これは，形状２の電極形状により，より小さいゲート寄生容量を実現できた効果によるものと考えられる。今回の結果はかなり極端なゲート形状の差異となったが，今後は SiN 鋳型の堆積条件を更に細かく制御し，より精密なゲート断面形状の制御を実現する予定である。

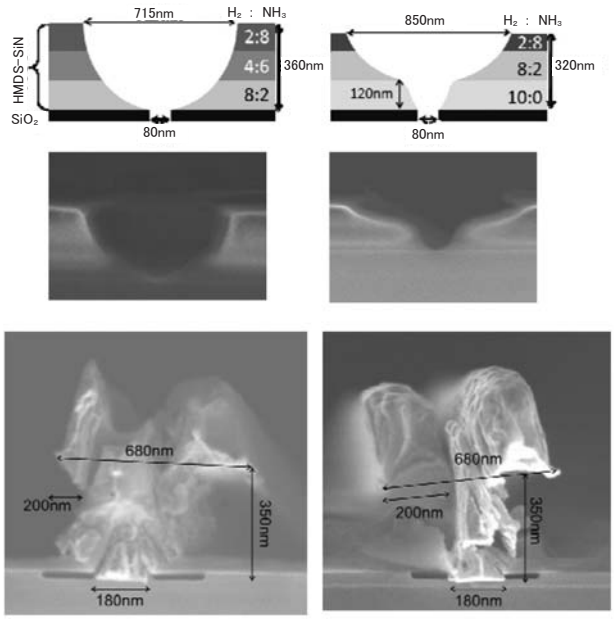


図 3. SiN 鋳型の構成と断面形状，及び，ゲート電極形状

４．まとめ

窒化物半導体によるミリ波トランジスタの実現に向けて，その基礎となる HEMT 作製プロセスを構築した。また，T 型ゲート電極の形成プロセスについて，SiN 鋳型を用いた形成手法を検討し，その効果を確認した。研究の第２年度では，GaN 系 HEMT の微細化を進めると共に，開発した T 型ゲート形成手法を導入して高周波化を進める計画である。

謝辞

本研究を遂行するに当たり，窒化物系半導体プロセス用装置を使用させて頂いた東北大学金属材料研究所の松岡隆志教授，並びに研究室の方々に感謝する。また本研究の一部は，電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設の設備を用いて行われた。

外部発表リスト

[1] 赤川啓介，吉田智洋，尾辻泰一，末光哲也，”**HMDS-SiN** を鋳型として用いた **T** 型ゲート電極の形成,” 第 58 回応用物理学関係連合講演会，神奈川，Mar. 24-27, 2011, 24a-KS-5.

[2] T. Yoshida, K. Akagawa, T. Otsuji, and T. Suemitsu, “InGaAs HEMTs with T-gate electrodes fabricated using HMDS-SiN mold,” 38th Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS), Berlin, Germany, May 22-26, 2011, pp. 473-474.

自己身体表象を考慮した人間のマルチモーダル感覚知覚処理機構の解明とモデル化：視覚と触覚のインタラクション

松宮　一道（高次視覚情報システム研究分野）

［1］
研究費：物件費 500 万円，旅費 0 円

［2］成果
（1）研究成果
本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第１に，運動視において視覚情報と触覚情報が相互作用を引き起こすことを明らかにした．

背景と目的　我々は動きの情報を視覚だけでなく体性感覚や聴覚からも獲得できる．動きの知覚において異種感覚情報を統合する処理機構の存在が示唆されているが，モダリティの異なる感覚情報をどのように統合しているかは未知である．本研究では，手の動きにより生じる触運動感覚が視覚運動残効にどのような影響を与えるかを調べた．

実験方法　視覚刺激は正弦波状に輝度変調された縞状円盤で，触覚刺激は手に持ったペンを通して与えられた（図１）．順応期間では，被験者は円を描くように手に持ったペンを 20 秒間回転し続け，視覚刺激は被験者の手の動きに合わせて回転した．順応後，被験者は手の動きを止めて静止した視覚刺激を観察し運動残効持続時間を応答した．

結果と考察　手と視覚刺激の運動速度と運動方向が一致するときに残効時間が増大した（図２）．これは，動きの知覚において視覚情報と体性感覚情報を統合するには，各感覚情報が時空間的に一致しているときに限られることを示唆する．

第２に，運動視の視触覚統合において注意の寄与を明らかにした．

背景と目的　運動視は，注意の影響を受けることがよく知られている．例えば，ある一定方向の動きに順応するときに，その順応刺激に注意を向けると，運動残効の持続時間が長くなる．前述の結果では，触運動感覚によって運動残効の持続時間が長くなったので，触運動が注意の効果を誘発していたのかもしれない．この可能性を検査するために，動きの順応刺激と異なる場所に注意を引いたときの運動残効における視触覚統合効果を調べた．

実験方法　もし触運動が注意を誘発していたならば，触運動により使われる注意資源を別の注意課題によって奪うことができるはずである．その結果，たとえ触運動が加わっても順応刺激から注意がそらされると，触運動による視触覚統合効果はなくなることが予想される．

結果と考察　我々は，予想通りの結果を得た．これらの結果は，視覚運動信号と触覚運動信号の統合において注意が媒体していることを示唆する．

第３に，歩行時に視覚から得られる身体の移動方向と，体性感覚から得られる身体の移動方向を不一致にすることで，障害物を回避する際の身体制御に用いられる視覚的手がかりを明らかにした．

背景と目的　歩行の視覚制御において，脳は視覚的手がかりとしてオプティックフローと身体から障害物までの知覚方向（自己中心的方向）の２つを少なくとも利用できることが知られている（図３）．しか

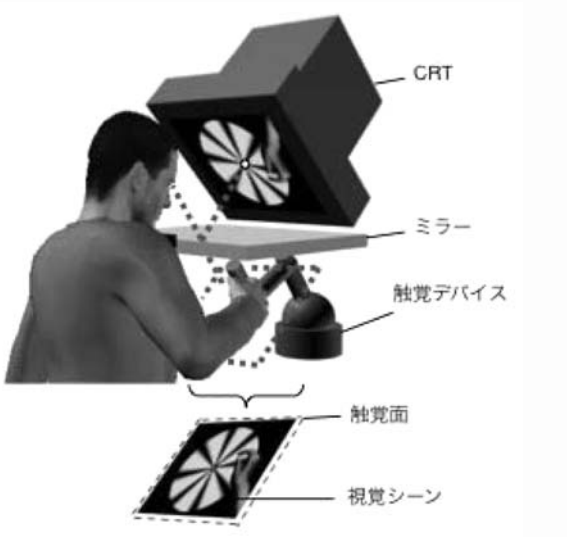


図１．実験装置．視触覚刺激提示装置を使い，被験者の手の動きに同期して動く放射状の縞模様の視覚刺激を用い，しばらくその動きに順応した後に，静止した視覚刺激を見ると順応した動きの方向と反対方向の動きが知覚される（運動残効）．

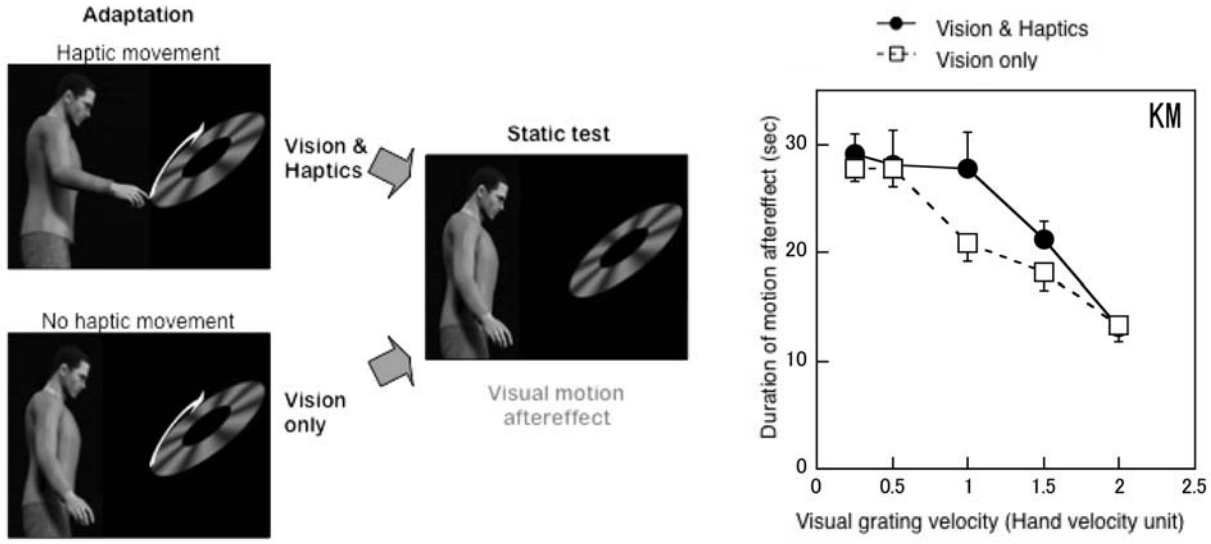


図２．体性感覚が視覚的動きに与える効果．左図は実験手続きの模式図である．順応条件には体性感覚情報がある条件とない条件の二通りがある．右図は視覚運動残効の持続時間を測定した結果である．

し，障害物を回避する際に，これら２つの手がかりのうちどちらが使われているのかは明確になっていない．そこで，本研究では，Warren ら（2001）の方法を用いて，障害物の回避行動におけるオプティックフローと自己中心的方向がどのように利用されるかを調べた．

実験方法　オプティックフローが障害物との衝突を回避するために利用されているならば，フローの湧き出し口が障害物と重なる場合にフローの手がかりを使って身体移動を制御し，フローの湧き出し口が障害物と重ならない場合に自己中心的方向の手がかりを使って身体移動を制御することが予想された．

結果と考察　本研究の結果は，フローの湧き出し口のずれが障害物と重なるときに，背景にオプティックフローが呈示されることで移動軌跡が直線に近づくことを示した（図４）．一方，フローの湧き出し口のずれが障害物と重ならないときは，背景に呈示されたフローに依存せず，身体の移動軌跡はカーブ形状を示した（図４）．これらの結果は，フローの湧き出し口のずれが障害物と重なるときのみ，身体移動方向を制御するためにフローが利用されていることを示している．

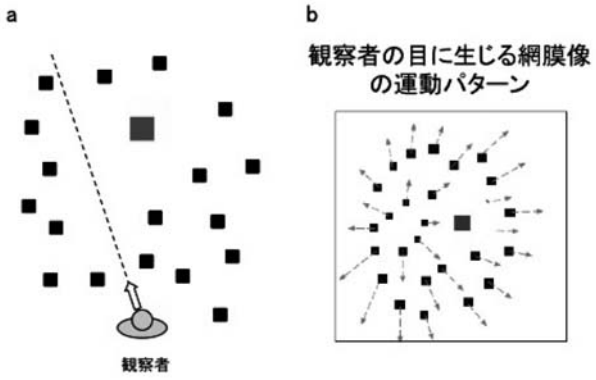


図３．(a)環境の中を移動する観察者．(b)観察者の身体移動に附随して生じる網膜像の運動パターン（オプティックフロー）．

（２）波及効果と発展性、将来展望など

本年度は，視覚と触覚および体性感覚の相互作用に関する基礎的な実験を積み重ねることで，マルチモーダル感覚知覚処理機構の核心部分が見えてきており，それらの成果を通して，本プログラムは科学研究費補助金・基盤研究(C)の獲得，および，科学研究費補助金・新学術領域研究の獲得へと発展した．

本研究は，これまで視覚情報のみが処理された結果生じていると考えられていた心理現象が，触覚情報にも依存することを報告し，我々の分野においては従来の運動視の考え方に修正をもたらす大きな衝撃を与えた報告であった．従来，視覚的な動きのパターンは運動方向，空間周波数，速度のような視覚刺激の属性あるいは注意によって追跡された運動方向にチューニングされたフィルターを通して処理されると考えられている．このようなフィルターの存在は運動残効を使って調べられており，運動残効の存在は特定の視覚属性に順応するフィルターの存在に対する証拠とみなすことができる．本研究は，視覚属性に順応するフィルターが触覚的な属性にも順応することを報告した点で学術的意義は大きいと考えている．

また，本研究は，身体制御についても視覚と体性感覚の相互作用を明らかにした．迂回行動時の身体移動を制御するために，脳は視覚情報だけでなく体性感覚情報も利用することができる．オプティック

フローによって提供される視覚情報を使えば，自己身体が将来どこへ向かうかを知ることができ，自己身体が障害物に衝突するかどうかを予測できる．この予測に基づいて，体性感覚情報から得られる身体の現在の状態を更新し，身体が障害物に衝突しないようにしていることが本研究から示唆される．このように，脳は視覚情報と体性感覚情報を協調的に処理することで，安全な迂回行動を実現することができると考えられる．

今後は，手のような身体部位の表象を考慮した視触覚統合機構への解明に取り組み，ヒューマンインタフェース開発に直結するような成果へと発展させていきたいと考えている．

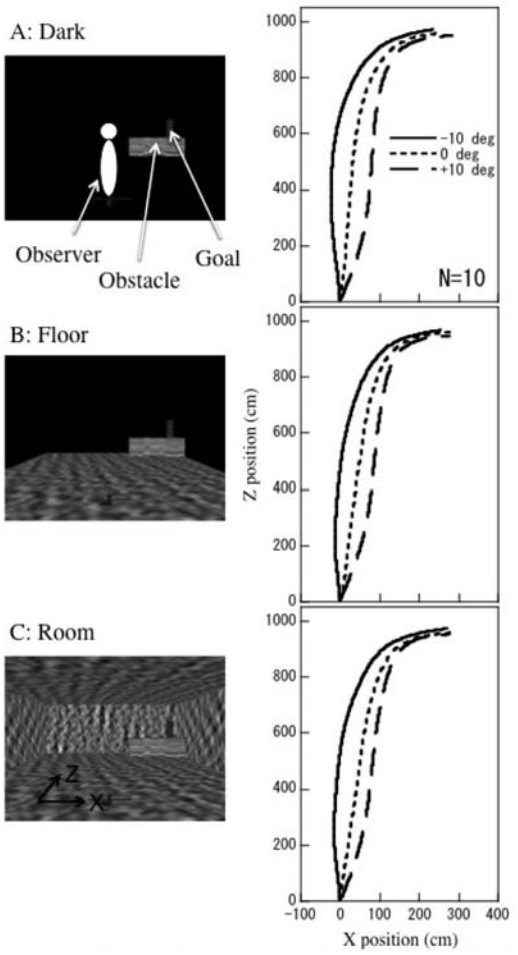


図4．オプティックフローに依存した歩行軌跡の変化．(A)暗黒条件（フローなし）．(B)床条件（一部の視野にフローあり）．(C)部屋条件（全視野フローあり）．刺激は，3次元視覚環境シミュレータ上に提示した．この環境の中で，障害物を被験者から奥行き約9 m の位置に配置し，その障害物の背後に円柱のゴールを配置した．被験者は円柱のゴールに向かって模擬的に身体を移動させた．グラフの実線は体性感覚情報に対して左に 10 deg ずれたフローの湧き出し口を提示したときの結果を，点線は体性感覚情報と一致したフローの湧き出し口を提示したときの結果を，破線は体性感覚情報に対して右に 10 deg ずれたフローの湧き出し口を提示したときの結果を示す．被験者 10 名の平均値を示す．

（3）主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

1. 松宮一道，安藤広志：視覚情報と体性感覚情報の不一致による迂回行動時の身体制御に用いられる視覚的手がかりの分離，基礎心理学研究，査読有，30(1)，印刷中，2011.
2. 山崎隆紀，松宮一道，栗木一郎，塩入　諭：ポインティング課題における空間表象の位置情報の影響，VISION，査読有，22(3)，149-163，2010.

〔学会発表〕（計5件）

1. 松宮一道，塩入　諭：低次運動視処理機構における触覚統合，第二回多感覚研究会，2010年12月4日，仙台市・東北大学
2. 松宮一道：見ている手の所有感覚によって増大する視覚運動残効，生理学研究所研究会「認知神経科学の先端身体性の脳内メカニズム」，2010年10月22-23日，岡崎市・生理学研究所
3. 陳　智翔，松宮一道，栗木一郎，塩入　諭：両眼間速度差検出メカニズムの空間周波数選択性，日本視覚学会，2010年8月2-3日，神奈川県・東京工業大学すずかけ台キャンパス
4. Harada, T., Shioiri, S., Kuriki, I., and Matsumiya, K: Spatiotemporal characteristics of fast and slow motion detectors. Asia-Pacific Conference on Vision, 2010年7月23-26日，台北，台湾
5. Shioiri, S. and Matsumiya, K: Comparing the static and flicker MAEs with a cancellation technique in adaptation stimuli. Vision Sciences Society, 2010年5月7-12日，フロリダ，米国

〔図書〕（計1件）

1. 松宮一道：映像情報メディア工学大事典（「4章11節 視覚と体性感覚」の執筆を担当），オーム社，2010年，基礎編 p.61-63

第 5 章　　共同プロジェクト研究

５．１　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は，情報通信分野における COE（Center of Excellence）として，その成果をより広く社会に公開し，また研究所自体がさらに発展するために全国共通利用型研究所としての所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本所の学問の性格上，単なる設備の共同利用ではなく，本研究所教員との共同研究を前提とした共同利用型研究所であるところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは，情報通信における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし，プロジェクト研究として実施していくもので，大規模な装置・施設の共同使用に重点がある従来の共同利用型研究とは異なり，研究内容主導型の共同研究である。

共同プロジェクト研究は，所内外の研究者の英知を集めて企画され、さらにその積極的な参加を得て実施されることが肝要である。これまで，本研究所の共同プロジェクト研究の提案および実施は，国・公・私立大学，国・公立研究機関及び，民間企業・団体等の教員及び研究者を対象として、公募により行われている。

○共同プロジェクト研究委員会

共同プロジェクト研究の運営のために，共同プロジェクト研究委員会及び共同プロジェクト実施委員会、共同プロジェクト選考委員会が設置されている。共同プロジェクト研究委員会は，共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するために所内５名、学内３名と学外４名の合計１２名の委員により構成されている。共同プロジェクト研究委員会の使命は，本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら，所内外の意見を広く求め，研究所の目的である「人間性豊なコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで，公募研究の内容，採択の基準，外部への広報，企業の参加に関する点等について議論を行ってきており，特に企業の参加に関しては，平成８年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申し合わせ」を作成し，公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会が設置されている。

また、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本所専任の教員により組織されている共同プロジェクト実施委員会が設置されている。

今年度のテーマは，平成２２年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い，次の４テーマを取り上げることとした。

１）物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成に関する研究
２）超広帯域通信のための次世代システムの創成に関する研究
３）人間と環境を調和させる情報システムの創成に関する研究
４）情報社会を支えるシステムとソフトウェアの創成に関する研究

○平成２２年度共同プロジェクト研究

平成２２年度の共同プロジェクト研究は，所内外から公募され審議の結果次の７０件（A：３９件，B：２８件，S：３件）が採択された。なお，A タイプは各々の研究課題について本研究所の施設・設備などを使って行う研究であり，３９件のうち２７件が外部よりの提案，B タイプは短期開催の研究会形式の研究で，２８件のうち１９件が外部よりの提案のものである。S タイプは組織間連携の共同プロジェクト研究であり，３件おこなわれ，いずれも外部よりの提案によるものであった。また，A タイプの研究のうち７件に，B タイプの研究のうち１５件に民間の研究者が参加している。

平成２２年度共同プロジェクト研究採択一覧

Ｈ２０／Ａ０１	プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究
Ｈ２０／Ａ０３	ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御
Ｈ２０／Ａ０４	Ⅳ族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究
Ｈ２０／Ａ０５	高移動度２次元ホールガスの作製
Ｈ２０／Ａ０６	知的ナノ集積システムとその応用に関する研究
Ｈ２０／Ａ０７	有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究
Ｈ２０／Ａ０８	イオンチャネルチップに関する研究
Ｈ２０／Ａ０９	人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究
Ｈ２０／Ａ１０	バイノーラル技術における音像定位の学習効果
Ｈ２０／Ａ１１	赤外光を用いた細胞チップに関する研究
Ｈ２０／Ａ１３	傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究
Ｈ２０／Ａ１４	高度映像コンテンツ検索技術に関する研究
Ｈ２１／Ａ０１	環境負荷低減に資する超伝導計算機技術に関する研究
Ｈ２１／Ａ０２	金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究
Ｈ２１／Ａ０４	超音波マイクロスペクトロスコピーおよび圧電共振･反共振法によるランガサイト系圧電単結晶の評価と高温用センサーへの応用
Ｈ２１／Ａ０５	電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究
Ｈ２１／Ａ０６	自己組織化マルチナノピラー構造による STT マイクロ波発振とその応用に関する研究
Ｈ２１／Ａ０８	直列接続共鳴トンネル素子を用いた高性能 THz 信号源の研究
Ｈ２１／Ａ０９	様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発
Ｈ２１／Ａ１０	３次元音響空間におけるコミュニケーションの高度化に関する研究
Ｈ２１／Ａ１１	視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究
Ｈ２１／Ａ１２	シナリオ・ツー・アニメ技術に関する研究
Ｈ２１／Ａ１３	センサークラウドによる持続性のある情報化社会基盤の構築に関する研究
Ｈ２２／Ａ０１	グラフェンを利用したテラヘルツ帯光電子デバイスに関する研究
Ｈ２２／Ａ０２	ゲルマニウム系量子ドットの形成および価電子制御とナノスケール機能メモリ応用
Ｈ２２／Ａ０３	電気磁気および磁気弾性効果の計算機物質設計とデバイス応用
Ｈ２２／Ａ０４	InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器高効率化の研究
Ｈ２２／Ａ０５	電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出
Ｈ２２／Ａ０６	負のスピン分極材料を用いたスピントロニクスデバイスの研究
Ｈ２２／Ａ０７	高飽和磁化純鉄ナノ粒子の化学合成とその集合体の軟磁気特性
Ｈ２２／Ａ０８	パーソナル音響テレプレゼンスシステムの研究
Ｈ２２／Ａ０９	人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報通信システムに関する研究
Ｈ２２／Ａ１０	ストレス応答に対する自然音の影響
Ｈ２２／Ａ１１	音空間バーチャルリアリティを用いたユニバーサル音空間訓練システムの構築
Ｈ２２／Ａ１２	周波数領域両耳聴モデルにおける指向特性制御に関する研究
Ｈ２２／Ａ１３	ブレインウェアシステムの研究
Ｈ２２／Ａ１４	ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究

Ｈ２２／Ａ１５　利用者適応型コミュニケーション技術のための利用者の注意と情動モデルの確立とその応用
Ｈ２２／Ａ１６　共生コンピューティングに基づく実世界指向アプリケーションの高度化に関する研究
Ｈ２０／Ｂ０２　高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用
Ｈ２０／Ｂ０３　新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究
Ｈ２０／Ｂ０４　ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究
Ｈ２０／Ｂ０８　光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究
Ｈ２０／Ｂ０９　次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究
Ｈ２０／Ｂ１０　高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフトウェアの開発
Ｈ２１／Ｂ０１　プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用
Ｈ２１／Ｂ０２　次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究
Ｈ２１／Ｂ０３　小電力無線通信方式
Ｈ２１／Ｂ０４　複素ニューラルネットワークの実用化
Ｈ２１／Ｂ０５　人間と調和性の高い情報システム構築のための人間特性理解
Ｈ２１／Ｂ０６　視覚科学の学際的アプローチに向けて
Ｈ２１／Ｂ０７　ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究
Ｈ２１／Ｂ０８　生物の適応的運動機序の解明と工学的応用
Ｈ２１／Ｂ０９　不揮発性ビット演算大規模コンピューティングの創造開拓
Ｈ２１／Ｂ１０　次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究
Ｈ２１／Ｂ１１　新概念 VLSI システムとそのシステムインテグレーション技術
Ｈ２２／Ｂ０１　次世代第一原理計算手法の開発・応用
Ｈ２２／Ｂ０２　微粒子プラズマの応用とその基礎研究
Ｈ２２／Ｂ０３　ナノ構造磁性材料の開発とＭＥＭＳへの応用に関する研究
Ｈ２２／Ｂ０４　生体情報インターフェース創生のためのフォトニクス研究
Ｈ２２／Ｂ０５　ナノスケールのゆらぎ・電子相関制御に基づく新規ナノデバイス
Ｈ２２／Ｂ０６　High-Q マイクロ波超伝導共振器を用いた大規模量子検出アレイに関する研究
Ｈ２２／Ｂ０７　ミリ波応用システム実用化のための課題と展望
Ｈ２２／Ｂ０８　生命にとっての情報・推論・計算の解明と工学的応用の検討
Ｈ２２／Ｂ０９　物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究
Ｈ２２／Ｂ１０　論理学的手法に基づくプログラム検証技術
Ｈ２２／Ｂ１１　民生用合成開口レーダシステムの開発と応用
Ｈ２０／Ｓ１　スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発
Ｈ２０／Ｓ２　スピントロニクス連携ネットワーク
Ｈ２１／Ｓ１　人間の機能を取り込んだ革新的新概念による情報通信システム

○　共同プロジェクト研究の公募，実施について

共同プロジェクト研究の公募，実施は年度単位で行われている。例年，研究の公募は，1 月 20 日前後に来年度の研究応募要項の公開，2 月 25 日前後が申請書の提出締切りとなっており、採否の結果は 3 月下旬頃に申請者の所属機関の長を通して通知される。研究期間は，4 月 20 日より 3 月 15 日までであり，研究終了後 3 月 31 日前後までに共同プロジェクト研究報告書を提出していただく事になっている。なお，上の「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるので，申請にあたっては本所に対応教員がいることが必要である。

なお，本共同プロジェクト研究については，次の web page にて広報している：

www-URL: http://www.riec.tohoku.ac.jp/nation-wide/index-j.shtml

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力係
電話：022－217－5422

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

課題番号　H２０／A０１

プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究

［1］組織

代表者：畠山 力三
（東北大学大学院工学研究科）

対応者：庭野 道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
田路 和幸（東北大学大学院環境科学研究科）
川添 良幸（東北大学金属材料研究所）
寒川 誠二（東北大学流体科学研究所）
金子 俊郎（東北大学大学院工学研究科）
加藤 俊顕（東北大学大学院工学研究科）
藤原 民也（岩手大学工学部）
高橋 和貴（岩手大学工学部）
笠間 泰彦（（株）イデアルスター）
表 研次（（株）イデアルスター）
岡田 洋史（（株）イデアルスター）
吉木 宏之（鶴岡工業高等専門学校総合科学科）
佐藤 直幸（茨城大学工学部）
金山 敏彦（産業技術総合研究所）
小松 正二郎（物質・材料研究機構）
平田 孝道（東京都市大学大学院工学研究科）
阿知波 洋次（東京都立大学理学研究科）
野崎 智洋（東京工業大学グローバルＣＯＥ）
寺嶋 和夫（東京大学新領域創成科学研究科）
一木 隆範（東京大学大学院工学研究科）
鈴木 哲（NTT 物性科学基礎研究所）
湯田坂 昌子（産業技術総合研究所）
三重野 哲（静岡大学理学部）
永津 雅章（静岡大学工学部）
石黒 静児（核融合科学研究所）
田中 基彦（中部大学全学共通教育室）
篠原 久典（名古屋大学大学院理学研究科）
大澤 幸治（名古屋大学大学院理学研究科）
堀 勝（名古屋大学大学院工学研究科）
斉藤 弥八（名古屋大学大学院工学研究科）
水野 彰（豊橋技術科学大学）
須田 善行（豊橋技術科学大学）
前川 孝（京都大学大学院理学研究科）
酒井 道（京都大学大学院工学研究科）
白藤 立（名古屋大学大学院工学研究科）
佐野 紀彰（京都大学大学院工学研究科）
林 康明（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科）
節原 裕一（大阪大学接合科学研究所）
松本 和彦（大阪大学産業科学研究所）
浜口 智志（大阪大学工学研究科）
中山 喜萬（大阪大学大学院工学研究科）
久保園 芳博（岡山大学大学院自然科学研究科）
大原 渡（山口大学工学部）
橘 邦英（愛媛大学大学院理工学研究科）
伊藤 早苗（九州大学応用力学研究所）
田中 雅慶（九州大学総合理工学研究院）
白谷 正治（九州大学大システム情報科学研究院）
中嶋 直敏（九州大学工学研究院）
吾郷 浩樹（九州大学先導物質化学研究所）
藤山 寛（長崎大学工学部）
秋山 秀典（熊本大学自然科学研究科）
上杉 喜彦（金沢大学理工研究域）
伊藤 公孝（核融合科学研究所核融合理論シミュレーション研究系）
北野 勝久（大阪大学大学院工学研究科）
林 信哉（佐賀大学大学院工学系研究科）
鄭 求桓（カンウォン国立大学先進材料科学工学研究科）
松田 一成（京都大学エネルギー理工学研究所）
長谷川 雅考（産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター）
春山 純志（青山学院大学大学院理工学専攻）

研究費：物件費 31 万 3 千円，旅費 42 万 5 千円

［2］研究経過

本プロジェクトにおいては，２１世紀の重点的研究分野と目されている環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料，ライフサイエンス，フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも学問的基盤として根幹的に関わっているプラズマ科学と，ナノバイオ科学が融合する新領域に特化して，気体，液体，気液界面プラズマ中の新規ナノバイオプロセシング法を駆使することにより，次世代ナノ情報電子デバイス創成に資する基礎研究を，全国のプラズマ理工学者を中心としてナノバイオ科学技術に関わる電子・磁気・光工学，材料工学，物理，化学，分子生物学，医学・生命科学者の英知を結集して３年間を目処に展開する．

本プロジェクトでは上記の目的を遂行するべく，バイオ，医療，プラズモニクス等のプラズマ－バイオ融合科学分野から，フラーレン・ナノチューブ・グラフ

ェンを用いたナノ科学技術について広範囲な分野を，統合的に鳥瞰・理解するための研究会を開催した．また，プラズマを活用して，機能性ナノ構造創成に関する実験研究を展開した．以下，研究活動状況の概要を記す．

（研究討論会等開催状況）
日時：平成23年2月21日，22日
場所：東北大学大学院工学研究科
電気・情報系 451・453会議室

1. 「大電流安定化アーク放電を用いた高融点電極動的重相相互作用の解明」上杉　喜彦　（金沢大学　理工研究域）
2. 「プラズマ・メタマテリアルとそこに内在する非線形性」酒井　道，飯尾　聡　（京都大学大学院　工学研究科）
3. 「非平衡極限プラズマとプラズマ乱流の研究について」伊藤　公孝（核融合科学研究所　核融合理論シミュレーション研究系）
4. 「フロンテイア非平衡極限プラズマが切り拓くナノバイオトロニクス基盤技術 ー クライオプラズマを用いたナノポーラス構造体デバイスプロセス、および、超臨界流体プラズマを用いた第４の新規カーボンナノ物質の探索、を例にしてー」寺嶋　和夫，スベン・シュタウス（東京大学　大学院新領域創成科学研究科）
5. 「大気圧低温プラズマによるプラズマバイオ研究　～ナノ粒子から歯科治療まで～」北野　勝久　（大阪大学大学院　工学研究科）
6. 「酸素種ラジカルを用いた滅菌法とその応用」林　信哉[1]，後藤　昌昭[2]，米須　章[3]　([1]佐賀大学大学院　工学系研究科，[2]佐賀大学　医学部，[3]琉球大学　工学部 ）
7. 「気液界面非平衡ナノバイオプラズマ」金子　俊郎，奥野　竜希，原田　高志，陳　強，畠山　力三　（東北大学 大学院工学研究科）
8. 「らせん状炭素繊維の合成と電子放出素子への応用」須田　善行　（豊橋技術科学大学　工学部）
9. 「Catalyst size control for diameter specified growth of single-walled carbon nanotubes using thermal chemical vapor deposition」鄭 求桓（カンウォン国立大学 先進材料科学工学研究科）
10. 「非平衡プラズマCVDによる単層カーボンナノチューブのカイラリティ分布制御」加藤 俊顕，畠山 力三　（東北大学 大学院工学研究科）
11. 「カーボンナノチューブにおけるナノ光科学」松田　一成　（京都大学　エネルギー理工学研究所）
12. 「マイクロ波プラズマCVDによるグラフェンの低温合成」長谷川　雅考，金　載浩，石原　正統，古賀　義紀，津川　和夫，飯島　澄男　（産業技術総合研究所　ナノチューブ応用研究センター）
13. 「グラフェンのエッジと電子物性・素子応用」春山　純志　（青山学院大学　大学院理工学専攻）

本研究会では学内外を含め延べ 63 名以上の参加者があり，講演は「プラズマーナノバイオ融合科学」を主テーマに，非平衡極限プラズマとその応用，ナノカーボンの合成・制御と応用，バイオ応用プラズマプロセス，医療応用プラズマプロセス等の立場から，専門分野を越えて活発な議論がなされた．

［３］成果
（３－１）研究成果
本研究プロジェクトにおいては，気体、液体、気液界面プラズマ中の新規ナノバイオプロセシング法を駆使することにより，特定の原子及び分子を内包した新機能を有する超分子構造（新機能性進化）ナノチューブを創製する等のカーボンナノチューブの基礎と応用研究を展開することを目的としており，以下に示す研究成果を得た．

I. プラズマＣＶＤによる単層カーボンナノチューブのカイラリティ分布制御

単層カーボンナノチューブ (SWNTs) の内部空間を積極的に修飾することで，SWNTs 全体の電気特性を大きく変調可能であることがこれまでの我々の研究により明らかになっている．バンドギャップ，キャリア移動度等SWNTs電気特性のさらなる詳細なパラメータ制御を実現するためには，元となる空のSWNTsの構造を精密に制御することが必要である．SWNTs の電気伝導特性を決定している最も大きな要因は，SWNTs を構成しているグラフェンシートの螺旋度（カイラリティ）である．様々なカイラリティの SWNTs が混在している現状から，任意のカイラリティのみを自在に合成する“カイラリティ制御”という最終目的を実現するには，多くの技術的障壁が残されている．そこで，本目標に向けた第一ステップとして，試料内に含まれているカイラリティ分布を狭め，単一カイラリティのみが存在する SWNTs を合成することがまずは重要である．我々は，原料ガスをプラズマ化し，通常の熱 CVD では実現できない，特異な反応場を作り出し，これを最大限活用することにより，試料内に含まれるSWNTsのカイラリティ分布を狭めることを試みた．

触媒金属として，一般的な Ni, Co, Fe 系の磁性金属ではなく，非磁性金属触媒である Au を用いた場合，プラズマ CVD 中に微量の水素を混入すること

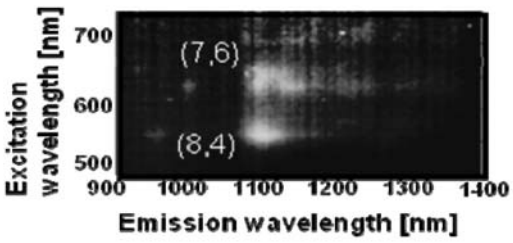


図 1. プラズマ CVD により合成したカイラリティ分布の狭い SWNTs の蛍光-励起マッピング特性.

により，カイラリティ分布が著しく狭められることを発見した．同一実験配置のもと熱 CVD による SWNTs 合成を行いプラズマ CVD の結果と比較した結果，この様なカイラリティ分布の狭まりはプラズマ CVD でかつ，Au 触媒を用いた場合にのみ確認されることが判明した．これは，プラズマ中の活性水素による化学的エッチング作用と，炭素と Au 触媒との微弱な結合エネルギーに起因しているものと考えられる．プラズマ CVD，熱 CVD を問わず非磁性金属触媒を用いてカイラリティ分布の狭い SWNTs を合成した例は我々が世界で初めての成果であり，SWNTs の真性磁気物性の解明に極めて大きな貢献が期待される．

非磁性金属触媒を使わない場合においても，プラズマの特徴を最大限活用することで，カイラリティ分布を狭めることが可能であることも見出している．SWNTs の構造ばらつきが各触媒からの成長開始までにかかる時間(インキュベーションタイム) に起因しているという発想のもと，プラズマ CVD 中の SWNTs 成長時間を精密に制御することで，SWNTs 成長時間とカイラリティ分布の依存性を測定した．その結果，SWNTs の成長初期過程では，試料内に含まれるカイラリティ分布が明らかに狭くなることが明らかになった（図 1）．このような，成長時間とカイラリティばらつきの関係を明らかにしたのは，本研究が最初の報告である．また，CVD 成長時間の厳密な制御は熱 CVD では難しく，プラズマ CVD のみで実現できることから，“精密成長時間制御”という新たなプラズマ CVD の利点を見出すことにつながった本研究は，今後の精密カイラリティ制御に向け重要な成果である．

II. 気相－液相界面プラズマを利用したカーボンナノチューブ－金ナノ粒子複合物質創製

極めて小さな蒸気圧，大きな熱容量等のユニークな特徴を有するイオン液体を用いることによって，これまでにナノバイオ物質創製の新規反応場として注目されているプラズマと液体が接する気相－液相

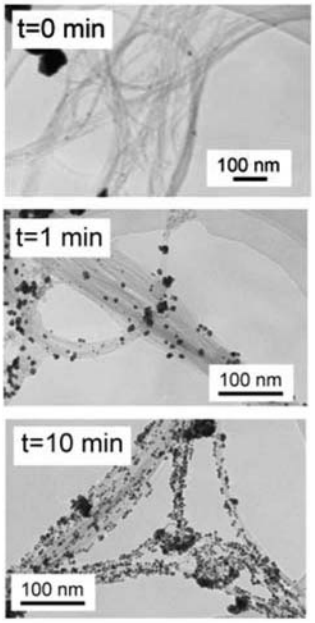


図 2. プラズマ照射時間を変化させた場合の金ナノ粒子表面修飾 CNT の TEM 像.

界面プラズマの生成に成功し，その基礎特性を明らかにしてきた．本年度は，金属ナノ粒子を高度に秩序化させて高い規則性を持たせた構造体が，バルク材料では見られない新奇の電気的，光学的特性を示すことに注目し，これらのナノ粒子間の“間隔”を自在に制御できる高秩序化構造体を気相－液相界面プラズマを活用して形成した．

本実験では，表面プラズモン共鳴による特異な光学特性を有する金ナノ粒子に着目し，その間隔を制御する目的で，カーボンナノチューブ (CNT) をテンプレートとして用いた．このとき，金ナノ粒子と結合しやすい官能基を CNT の表面に予め制御して修飾しておくことで，選択的に金ナノ粒子が官能基の位置で合成され，間隔制御が可能となる．本研究では CNT 表面へ修飾する官能基としてカルボキシル基 (-COOH) 及びアミノ基 (-NH_2) を採用し，これらを含むイオン液体 (2－ヒドロオキシエチルアンモニウムホルマート) をプラズマ放電電極として用いた．このイオン液体に CNT を分散させた後，プラズマ照射 (放電電圧：V_D = 540 V，放電電流：I_D = 1 mA) を行うことで，イオン液体を解離し，解離した官能基が CNT 表面に結合する．この官能基修飾を施した CNT にテトラクロロ金(Ⅲ)酸三水和物 ($HAuCl_4 \cdot 3H_2O$) を溶解させることで金ナノ粒子を官能基に選択的に合成し，そのサンプルを透過型電子顕微鏡 (TEM) で観測した．

図2に，プラズマ照射時間 t を変化させて形成した金ナノ粒子表面修飾 CNT の TEM 像を示す．t = 10 min の場合，金ナノ粒子が CNT の表面に高密度に合成されているのが観測できる．一方，プラズマを

照射しなかった場合(t = 0 min)には, CNT の表面に金ナノ粒子が合成されていない. これより, プラズマ照射による官能基修飾の有効性が明らかとなった. また, t = 1 min と 10 min の場合を比較すると, プラズマ照射時間を長くすることで, 金ナノ粒子の合成密度が増加しており, プラズマ照射制御により, CNT 表面への官能基, すなわち金ナノ粒子の修飾密度 (間隔) を制御できることを実証した.

III. C_{60} 内包 SWNTs を利用した赤外光太陽電池

近年, 光電エネルギー変換素子として SWNTs は大きな注目を集めている. 特に, 太陽光エネルギーを有効に利用するためには波長 1 μm 以上の赤外光領域も活用することが必須であり, 本光学領域において優れた特性を有する SWNTs を有効利用することは極めて重要である. 我々は, n 型シリコン(n-Si) と p 型 SWNTs, あるいは C_{60} 内包 SWNTs (C_{60}@SWNTs) を利用した, 赤外光太陽電池作製に向けた系統的実験を行った. 太陽電池配位のもと, SWNTs が赤外光 (1550 nm) を電気エネルギーに変換可能であることを実証し, さらに, C_{60}@SWNTs を利用することで空の SWNTs に比べ赤外光に対するエネルギー変換効率が増大することを見出した.

図 3(a) に光照射無し, 及び波長 1550 nm の LED 照射時における SWNT/n-Si 太陽電池の典型的な電流-電圧 (*I-V*) 特性を示す. 光照射時には, 開放電圧 V_{oc} と短絡電流 J_{sc} はそれぞれ 57 mV, 5.4 μA/cm^2 であることが分かった. 一方, C_{60} を内包することで, V_{oc} が明確に増大し 100 mV に達することが図 3(b) に示す *I-V* 特性から明らかになった. この C_{60}@SWNT/Si 太陽電池における V_{oc} の増大は, C_{60} と SWNTs 間の電荷交換効果により p 型伝導特性が強められたことに由来すると考えている.

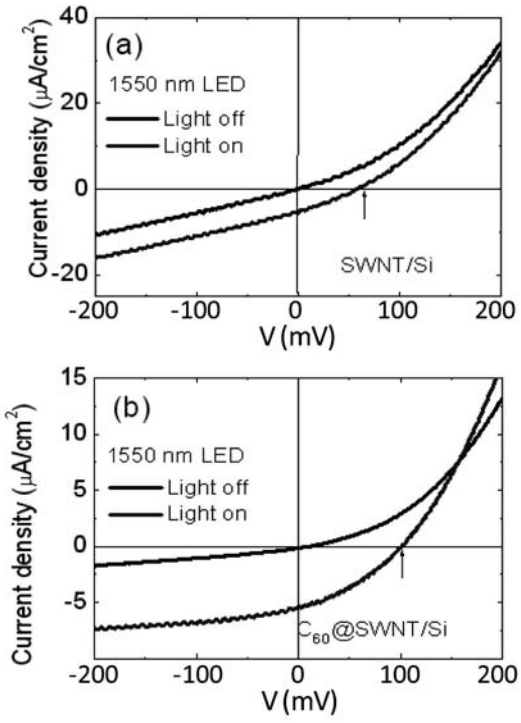


図 3. 赤外 LED (1550 nm, 1.5 mW/cm^2) 照射時における (a)SWNT/Si と (b) C_{60}@SWNT/Si の *I-V* 特性.

［4］成果資料

1. “Direct Growth of Short Single-Walled Carbon Nanotubes with Narrow-Chirality Distribution by Time-Programmed Plasma Chemical Vapor Deposition”, T. Kato and R. Hatakeyama, ACS Nano, Vol. 4, No.12, pp 7395-7400, 2010.
2. “Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes by Plasma CVD”, T. Kato and R. Hatakeyama: Journal of Nanotechnology, Vol. 2010, pp 256906-1-11, 2010.
3. “Narrow-Chirality Distributed Single-Walled Carbon Nanotubes Growth from Nonmagnetic Catalyst”, Z. Ghorannevis, T. Kato, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of the American Chemical Society, Vol. 132, No. 28, pp. 9570-9572, 2010.
4. “プラズマで拓くナノカーボン・バイオ融合科学”, 畠山 力三, 金子 俊郎: ケミカルエンジニヤリング, Vol. 55, No. 12, pp. 896-902, 2010.
5. “Effects of Ionic Liquid Electrode on Pulse Discharge Plasmas in the Wide Range of Gas Pressures”, Q. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Applied Physics, Vol. 108, No. 10, pp. 103301-1-6, 2010.
6. “Measurements of Mode Structure of Shear-Modified Drift Wave Using Y- and Γ-Shaped Electrostatic Probes”, T. Kaneko and R. Hatakeyama: Contributions to Plasma Physics, Vol. 50, No. 9, pp. 796-801, 2010.
7. “New Aspects on Plasma Wave and Instability Phenomena in Basic-Plasma Experiments”, R. Hatakeyama, T. Kaneko, and W. Oohara: Journal of Plasma Physics, Vol. 76, No. 3-4, pp. 513-523, 2010.
8. “Observation of Electron Temperature Gradient Driven Low-Frequency Instabilities in Magnetized Plasma”, C. Moon, S. Tamura, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol. 9, pp. 436-440, 2010.
9. “大気中電解質プラズマを用いた新機能性ナノバイオ物質創製”, 金子俊郎, 李永峰, 畠山力三: 高温学会誌, Vol. 36, No. 4, pp. 162-167, 2010.
10. “Infrared Photovoltaic Solar Cells Based on C_{60} Fullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, R. Hatakeyama, Y. F. Li, T.Y. Kato,

and T. Kaneko: Applied Physics Letters, Vol. 97, No. 1, pp. 013104-1-3, 2010.
11. “マイクロプラズマのナノバイオ分野への応用”, 金子俊郎, 畠山力三: 材料の科学と工学, Vol. 47, No. 3, pp. 102-106, 2010.
12. “Synthesis and Property Characterization of $C_{69}N$ Azafullerne Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, Y. F. Li, T. Kaneko, S. Miyanaga, and R. Hatakeyama: ACS Nano, Vol. 4, No. 6, pp. 3522-3526, 2010.
13. “バイオ・医療応用におけるプラズマプロセス”, 畠山 力三, 金子 俊郎: 化学工業, Vol.61, No.5, pp. 362-370, 2010.
14. “Control of Electron Temperature and Space Potential Gradients by Superposition of Thermionic Electrons on Electron Cyclotron Resonance Plasmas”, C. Moon, T. Kaneko, S. Tamura, and R. Hatakeyama: Review of Scientific Instruments, Vol. 81, No. 5, pp. 053506-1-4, 2010.
15. “Synthesis Evaluation of Nitrogen Atom Encapsulated Fullerenes by Optical Emission Spectra in Nitrogen Plasmas”, S. Miyanaga, T. Kaneko, H. Ishida, and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, Vol. 518, No. 13, pp. 3509-3512, 2010.
16. “Room-Temperature Edge Functionalization and Doping of Graphene by Mild Plasma”, T. Kato, L. Jiao, X. Wang, H. Wang, X. Li, L. Zhang, R. Hatakeyama, and H. Dai: Small, Vol. 7, No. 5, pp. 574-577, 2011.
17. “Diameter Tuning of Single-Walled Carbon Nanotubes by Diffusion Plasma CVD”, T. Kato, S. Kuroda, and R. Hatakeyama: Journal of Nanomaterials, Vol. 2011, pp. 490529-1-7, 2011.
18. “Encapsulation of Nickel Atom inside Fullerene by Energetic Ion Irradiation”, T. Umakoshi, H. Ishida, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Plasma and Fusion Research, Vol. 6, pp. 1206015-1-2, 2011.
19. “Nano-Bio Fusion Science Opened and Created with Plasmas”, R. Hatakeyama and T. Kaneko: Plasma and Fusion Research, Vol. 6, pp. 1106011-1-12, 2011.
20. “Electrically Moving Single-Stranded DNA into and out of Double-Walled Carbon Nanotubes”, Y.F. Li, S. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Chemical Communications, Vol. 47, No. 8, pp. 2309-2311, 2011.
21. “Structural and Reactive Kinetics in Gas-Liquid Interfacial Plasmas”, T. Kaneko, Q. Chen, T. Harada, and R. Hatakeyama: Plasma Sources Science and Technology, in press, 2011.
22. “Plasma-Synthesized Single-Walled Carbon Nanotubes and Their Applications”, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Kato, and Y. F. Li: Journal of Physics D: Applied Physics, in press, 2011.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	3

採択番号　Ｈ２０／Ａ０３

ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御

［１］組織
代表者：小野　俊郎
（弘前大学大学院理工学研究科）
対応者：室田　淳一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
櫻庭　政夫（東北大学電気通信研究所）
豊田　宏（弘前大学大学院理工学研究科）
福田　幸夫（諏訪東京理科大学
システム工学部）
研究費：物件費 20 万 5 千円，旅費 21 万 9 千円

［２］研究経過

高速・低消費エネルギの Si-FET や Ge-FET、および RF デバイス用 MIM キャパシタの高性能化のため、ECR(Electron Cyclotron Resonance)スパッタ成膜による低温プロセスでの高誘電体ゲート膜の開発と、基板／誘電体界面の高品質化技術を開発する。これまでの検討から ECR スパッタによる誘電体薄膜のバルク特性は、室温成膜にもかかわらず、従来技術による高温プロセスと同等以上の特性を有していることがわかっている。本プロジェクトは、本年度が第３年度であり、平成２０年度、平成２１年度の成果である、基板／高誘電体界面にイオン衝撃効果の小さい条件による中間膜を設ける MIS 構造における V_{FB} シフト制御の手法を発展させた。また、室温近傍の成膜温度における Si-MIS および Ge-MIS の基板／界面品質制御と成膜初期過程評価手法の確立を目指した。

研究活動は、高誘電体ゲート膜の形成と、基板／誘電体界面品質制御においては Si-MIS および Ge-MIS の特性評価を中心に行い、主要な打合せは e メールによる紙上会議にて実行した。また、本共同研究の最終年度に係る研究打合せを東北大学電気通信研究所にて実施した（H23.2.28～3.1）。

研究成果は学術論文誌、国内学術講演会、国際会議における発表により大きな反響を得るとともに、本プロジェクトの目的である低温プロセスによる高品質なゲート／基板界面の実現に向けて大きな可能性を見出した。

［３］成果

（３－１）研究成果

本研究に用いた ECR スパッタ装置を図１に示す。プラズマ室においてマイクロ波(2.45GHz)と磁気コイルにより付与された磁場(0.0875T)の効果により生成された、低ガス圧で高密度のプラズマ流は、磁気コイルの発散効果により試料台方向に輸送される。基板上では、輸送されたイオンの衝撃効果により、スパッタにより供給される金属原子と反応性ガスとの化合物反応が促進される。イオンの衝撃効果は擬似的に極表面を高温状態にするので、基板自体の温度は低温に維持した状態で 1000℃級熱プロセスと同等以上の品質の薄膜を形成できる。

膜形成アシストするイオンのエネルギは、成膜ガス圧に反比例する。成膜標準条件(~0.06Pa)ではイオンエネルギは 25eV 程度であり、高ガス圧条件(~0.15Pa)では 10eV 程度である[2]。誘電膜形成において MIS キャパシタの誘電体/基板界面の高品質化のため、低イオンエネルギの高ガス圧条件で中間膜を形成後、標準成膜条件で成膜した。誘電体の膜厚は中間膜と標準成膜の合計を 20nm とし、中間膜の割合を変えた。（成果資料(2)、(3)）。

図２に中間膜 2nm(中間膜の割合:10%)、8nm(40%)、そして標準成膜 20nm(0%)の MIS キャパシタの C-V 特性を示す。この結果から標準成膜 20nm の MIS キャパシタの V_{fb} は約-14.0V であるが、中間膜の膜厚が 2nm の MIS キャパシタでは V_{fb} が約-5.0V、中間膜の膜厚が 8nm の MIS キャパシタでは約-3.5V と改善されていることがわかる。また

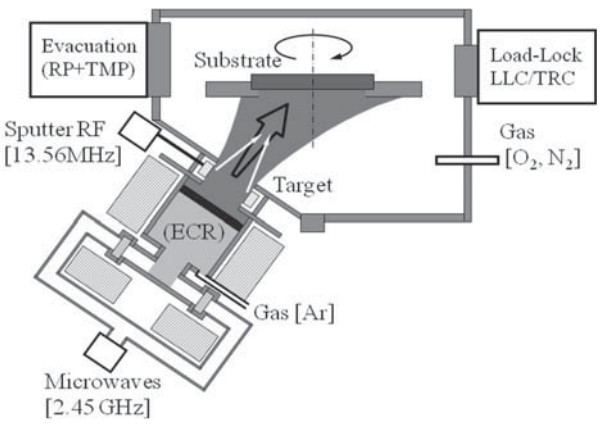


図１　ECR スパッタ装置

中間膜の割合が増加することによって、C-V の遷移領域の傾きが急峻になっている。これは誘電体/基板界面にトラップされた電荷がより少ないことを反映している。このことから中間膜を形成することで誘電体/基板界面への影響を抑制することができた。

図３に中間膜の割合とそれに対する V_{fb} の関係を示す。また比較のために今回使用した Si 基板と Al 上部電極から導出される理想 C-V の V_{fb} も示す。この結果から中間膜の割合が増加することにより、as-depo の状態で V_{fb} シフトが改善されていることがわかる。特に中間膜のみ 20nm 成膜した MIS キャパシタにおいては、as-depo で V_{fb} が理想と同等値を示している。またすべての MIS キャパシタにおいて、300℃真空熱処理を行うことで V_{fb} が理想と同等値を示している。これらの結果からイオン照射エネルギを考慮したガス圧で成膜を行うことで、基板加熱のない低温成膜による MIS において、V_{fb} シフトのないゲート膜を形成する可能性を見出した。

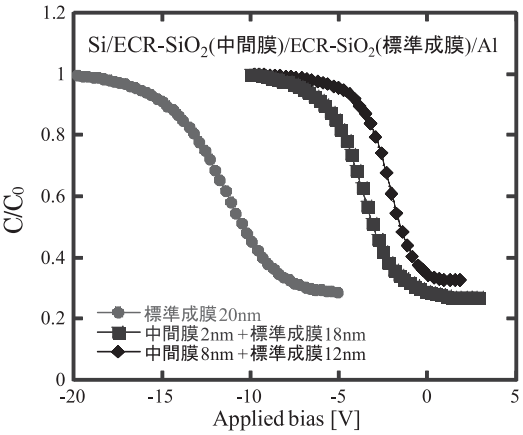


図２　中間膜を用いた SiO_2-MIS-CV

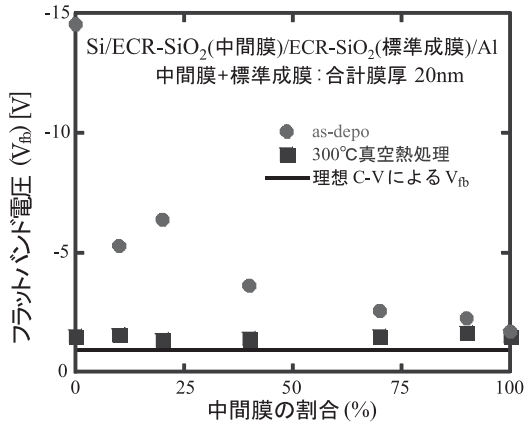


図３　中間膜の割合と V_{fb} の関係

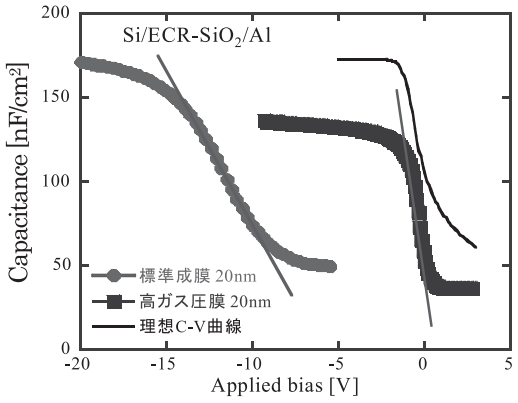


図４　成膜条件と C-V 特性

図４に高ガス圧膜20nmの誘電体を成膜したMIS キャパシタと標準成膜 20nm を成膜した MIS キャパシタの C-V 特性を示す。この図の C-V 曲線における遷移領域の傾きから、高ガス圧条件で成膜した MIS キャパシタは、誘電体/基板界面にトラップされた電荷がより少ないことがわかる。また C-V 曲線のシフト自体は膜中の電荷により発生する[3]。このことから高ガス圧条件で誘電体を形成することで、膜中の電荷と誘電体/基板界面にトラップされる電荷が少なく、V_{fb} シフトのほとんど発生しないゲート膜を形成することができた。一方、MIS キャパシタの容量を比較すると、高ガス圧条件で誘電体を成膜した MIS キャパシタは標準成膜条件より容量が低下し、ゲート膜の比誘電率が 3.0 と減少している。一般的な SiO_2 の比誘電率は 3.9 である。これは標準成膜条件での成膜中のイオンアシスト効果よりも、高ガス圧条件でのイオンアシスト効果が小さいため充分な膜質が得られなかったためと考えられる。

以上の Si-MIS の結果をもとに、Ge-MIS のゲート形成について検討した。ゲート膜は ECR プラズマ酸化を施したのちに ECR-Al_2O_3 膜を形成した。構造は Au/Al_2O_3(4nm)/GeO_2(5nm)/Ge である。膜形成は全て室温であり、N_2+3%H_2 雰囲気で 400℃、30 分の大気圧アニール後に電気特性を評価した。（成果資料(1)）

図５に Ge-MIS の I_g-V_g 特性を示す。V_g の広域において高耐圧である。測定の電圧ステップ ΔV は 50mV、時間 t_d は 1sec であるが、時間を長くしたり、

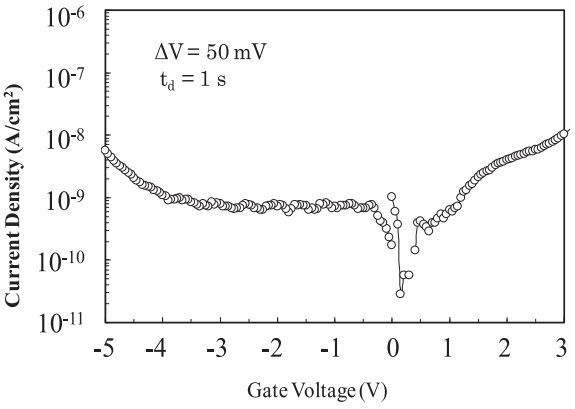


図５　Ge-MIS の I_g-V_g 特性

電圧ステップを小さくするとリーク電流は減少することを反映させると、実リーク電流は $1x10^{-9}A/cm^2$ 以下と評価できる。

図６に Cg-Vg 特性を示す。周波数に依存しない良好な C-V-特性が得られている。測定された容量から換算した EOT は 8.3nm となっている。また、この試料の G_g-V_g 特性からミッドギャップにおける固定電荷密度 D_{it} は $4.5x10^{10}cm^{-2}\cdot eV^{-1}$ であり、極めて小さい値となっている。

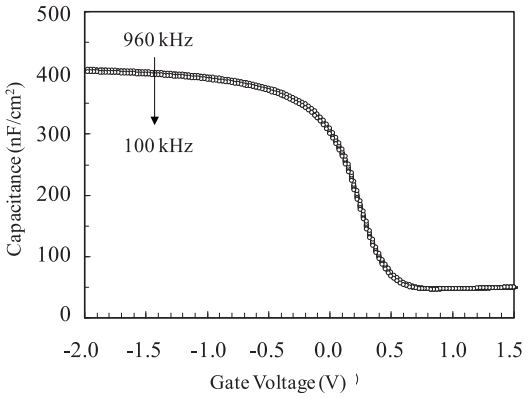


図６　Ge-MIS の C_g-V_g 特性

（３－２）波及効果と発展性など

以上の結果は低エネルギーのイオン照射をともなう ECR スパッタ成膜の各種電子デバイスへの応用において、低温での高品質膜形成に貴重な結果を提供している。ECR プラズマ成膜法は、他の高密度プラズマ技術に比較して装置の小型化が困難とされていることから、極く限られた用途以外には普及していない。

高密度集積 Si 半導体分野では依然として高温処理を前提としてプロセス開発が進められているが、これを援用している化合物半導体、表示デバイスや、Si の後継材料として有望な Ge-MISFET などの分野は室温に近い低温プロセスの要求が高く、技術的な乖離がみられる。また今後の展開として、有機液晶などの FPD、SoC 化を目指す MEMS 分野では室温近傍でのプロセス構築が必要不可欠となっている。

本成果をもとに FET の低温形成など、これまでにない研究分野の提案が可能であり、高機能電子デバイスの発展に大きく寄与できる。

［４］成果資料

(1) Y. Fukuda, Y. Yazaki, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, and T. Ono, Low-Temperature Formation of High-Quality GeO_2 Interlayer for High-k Gate Dielectrics/Ge by Electron-Cyclotron-Resonance Plasma Techniques, IEEE Trans. Electron Devices, 57(1), pp.282-287 (2010).

(2) K. Izumi, H. Toyota, J. Murota, M. Sakuraba, Y. Fukuda, T. Ono, Flat band shift for MIS with insulator gate deposited by an electron cyclotron resonance sputter, The 11th International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP 2011, Kyoto, 2011.7.6), PP 1-4. (採択済み)

(3) 泉康平、豊田宏、福田幸夫、室田淳一、櫻庭政夫、小野俊郎、ECR イオンアシスト加工における MIS 界面制御の検討、2010 精密工学会東北支部学術講演会（岩手県工業技術ｾﾝﾀｰ、2010.11.27），講演論文集, A05, pp.10-11 (2010).

課題番号　Ｈ２０／Ａ０４

採択回数　１　２　③

Ⅳ族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究

［１］ 組織
代表者：室田淳一（東北大学電気通信研究所）
分担者：
庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
上原洋一（東北大学電気通信研究所）
末光眞希（東北大学電気通信研究所）
櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）
安田幸夫（東北大学学際科学国際高等研究センター）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
小柳光正（東北大学大学院工学研究科）
田中　徹（東北大学大学院工学研究科）
白木靖寛（東京都市大学総合研究所）
財満鎭明（名古屋大学大学院工学研究科）
宮崎誠一（名古屋大学大学院工学研究科）
中塚　理（名古屋大学大学院工学研究科）
高木信一（東京大学大学院工学研究科）
鳥海　明（東京大学大学院工学研究科）
奥村次徳（首都大学東京理工学系）
平木昭夫（大阪大学大学院工学研究科）
伊藤利道（大阪大学大学院工学研究科）
酒井　朗（大阪大学大学院基礎工学研究科）
野崎眞次（電気通信大学電子工学科）
田部道晴（静岡大学電子工学研究所）
高橋庸夫（北海道大学大学院工学研究科）
小野俊郎（弘前大学大学院理工学研究科）
堀口誠二（秋田大学大学院工学資源学研究科）
松本　智（慶應義塾大学理工学部）
佐々木公洋（金沢大学大学院自然科学研究科）
土屋敏章（島根大学総合理工学部）
宮尾正信（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
佐道泰造（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
須田良幸（東京農工大学総合メディアセンター）
中川清和（山梨大学医学工学総合研究部）
樽茶清悟（科学技術振興機構）
坂本謙二（物質・材料研究機構）
石谷明彦（ベルギー・IMEC）
阿部孝夫（信越半導体（株））
鷲尾勝由（日立製作所（株））
国井泰夫（日立国際電気（株））
宮本光雄（森田化学工業（株））
佐藤政明（新日本無線（株））
水島一郎（（株）東芝セミコンダクター社）
小野昭一（（株）イデアルスター）
横尾邦義（（株）イデアルスター）
笠間泰彦（（株）イデアルスター）
表　研次（（株）イデアルスター）
Bernd Tillack（ドイツ・IHP）
Matty Caymax（ベルギー・IMEC）
James Sturm（米国・プリンストン大学）
Judy Hoyt（米国・マサチューセッツ工科大学）
Eugene Fitzgerald（米国・マサチューセッツ工科大学）
Erich Kasper（ドイツ・シュトゥットガルト大学）
Joerg Schulze（ドイツ・シュトゥットガルト大学）
Vinh Le Thanh（フランス・マルセイユ大学）
Stefano Chiussi（スペイン・ビゴ大学）

研究費：物件費 31 万 6 千円，旅費 68 万 2 千円

［２］研究経過

［目的］Ⅳ族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成プロセスの開発は大規模集積回路の高性能化及びその上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である．本研究では，原子層制御 CVD・エッチング・不純物ドーピング・MBE 等における表面・界面反応制御プロセス技術を駆使して，原子オーダで制御された Ⅳ 族半導体ナノヘテロ構造およびそのナノ立体構造の形成と導入される歪分布を制御し，高度歪制御ナノ立体構造を有する大規模集積化対応 Ⅳ 族半導体ナノ構造デバイスの実現を目的とする．さらに，形成した構造体から発現する新機能の探索を行う．材料としては，Si-Ge-C 系多層ヘテロエピタキシャル薄膜をはじめとして，P や B，N 等のドーパント原子，Si 窒化膜等の絶縁膜，さらに W 等の金属薄膜まで幅広く扱う．

［概要］本プロジェクトは，Si－Ge－C 系エピタキシャル薄膜やその積層構造及びそのナノ立体構造形成と歪分布制御についての研究を重点的に行う．また，P や B，N 等の原子層ドーピングを適用したナノヘテロ構造の光物性・電子物性に関する研究も進め，キャリアの輸送や生成・再結合に関わる新規物性探索を行い，ナノデバイス高性能化への応用を目

指す．原子レベルでの表面・界面構造の評価にはSTM/AFM・RHEED・XRD，表面の吸着物質・原子結合の同定にはXPS・FTIR・ラマン分光等を用いる．また，共鳴トンネルダイオード・量子箱・量子細線等の量子構造における電気特性，Siベース発光ダイオード・受光ダイオード特性の評価を行い，IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造の適用によるナノデバイスの高性能化と新機能デバイス創生のための指針を得る．

［情報交換活動等］IV族半導体の原子層制御技術やヘテロデバイス技術に関して，外部研究機関分担者との共同研究の成果を国際会議及び学術論文（海外機関6件、国内機関3件）として発表した．また，本研究プロジェクトが中心となり，以下の２つの国際会議も開催した．

- **第 5 回 SiGe テクノロジー&デバイス国際会議**（5th Int. SiGe Technol. & Device Meeting, Stockholm, Sweden, 2010年5月24−26日，発表 73 件，参加者 110 名，プロシーディング特集号：Solid State Electronics 誌を平成23年5月に出版済）

- **第4回SiGe & Ge国際会議**（4th ECS Int. SiGe & Ge Symp., Las Vegas, USA, 2010年10月10-15日，発表110件，参加者150名，プロシーディング特集号：ECS Trans.誌を平成22年10月に出版済）

これらの活動により，IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造における物理現象を踏まえたデバイス製作技術，回路・システム化技術の構築と産学独連携体制構築を含む研究活動推進が産業発展のために重要であることが明確に示され，世界規模での研究連携のきっかけとなることが期待される．

［３］成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

まず第１に，熱CVDプロセスによる歪 $Si_{0.3}Ge_{0.7}$ 上に形成したP原子層表面へのSiキャップ層エピタキシャル成長により，ヘテロ界面へのP原子層ドーピングについて研究を進めた結果，PH_3 吸着・反応層上のSi成長表面へのP偏析が，無歪の場合に比べて引っ張り歪の場合により顕著になり，ヘテロ界面での固溶限界も下がることを見いだした．第２に，IV族半導体表面の歪がCVD表面反応速度に大きな影響を与え，無歪 Si(100)上に比べ，引っ張り歪Si(100)上では，$Si_{0.55}Ge_{0.45}$ 混晶の堆積速度が大きく減少し，圧縮歪Si(100)上では大きく増加することを明らかにした．第３に，高移動度化のために利用されようとしている引っ張り歪Si中では，0.8%のわずかな引っ張り歪でさえ、Si中のB原子の電気的活性度が大きく低下し，キャリア濃度を高くできない問題が顕在化することを見いだした．第４に，高Ge比率ナノメートル厚極薄 $Si_{0.42}Ge_{0.58}$ 上へのSiエピタキシャル成長に400°Cの低温でも堆積速度の速い高反応性原料ガス（Si_2H_6）を用いることにより，ヘテロ界面でのラフネス発生やミキシングを効果的に抑制できることを見いだした．そして，ナノメートルオーダ Si 障壁を有するホール共鳴トンネルダイオードの試作に適用することにより，明瞭な室温負性コンダクタンスを得ることに成功した。

以上のように，IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造の適用によるナノデバイス高性能化と新機能デバイス創生のための重要な成果を得た．今後も，この分野の共同プロジェクトを推進することにより，Siベース IV 族半導体原子制御プロセスの学問分野が大きく発展するだけでなく，次世代Si系高度歪制御ナノ立体構造デバイス開発も実現することになると期待できる．

［４］成果資料

1. “Atomically Controlled Plasma Processing for Group IV Quantum Heterostructure Formation”, M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, Key Engineering Materials, Vol.470, pp.98-103, (2011).

2. “Capture/Emission Process of Carriers in Heterointerface Traps Observed in the Transient Charge Pumping Characteristics of SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs”, T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba and J. Murota, Key Engineering Materials, Vol.470, pp.201-206, (2011).

3. “Fabrication of High-Ge-Fraction Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si Hole Resonant Tunneling Diode Using Low-Temperature Si_2H_6 Reaction for Nanometer-Order Ultrathin Si Barriers”, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, Solid-State Electron., Vol.60, pp.112-115, (2011).

4. “Determination of Valence Band Alignment in SiO_2/Si/$Si_{0.55}Ge_{0.45}$/Si(100) Heterostructures”, A. Ohta, K. Makihara, S. Miyazaki, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1910265.

5. “Evolution of the Hydrogen Terminated Structure of the Si(100) Surface and Its Interaction with H_2 at 20-800°C”, A. Uto, M. Sakuraba, M. Caymax and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918397.

6. “In-Situ Heavy B-Doped Si Epitaxial Growth on Tensile-Strained Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD Using SiH_4 and B_2H_6”, M. Nagato, M. Sakuraba, J. Murota, B. Tillack, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010,

Abs.No.1918419.

7. “Influence of Strain on P Atomic-Layer Doping Characteristics in Strained $Si_{0.3}Ge_{0.7}$/Si(100) Heterostructures”, Y. Chiba, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918431.

8. “Fabrication of High-Ge-Fraction Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si Hole Resonant Tunneling Diode Using Low-Temperature Si_2H_6 Reaction for Nanometer-Order Ultrathin Si Barriers”, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM2010), Stockholm, Sweden, May 24-26, 2010, Abs.No.1918443.

9. “Atomically Controlled Plasma Processing for Group IV Quantum Heterostructure Formation”, M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, Int. Symp. on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), Tokyo, Japan, Jun. 3-5, 2010, p.36.

10. “Room-Temperature Resonant Tunneling Diode with Nanometer-Order High-Ge-Fraction Strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si Heterostructures on Si(100)”, M. Sakuraba, K. Takahashi and J. Murota, Int. Symp. on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), Tokyo, Japan, Jun. 3-5, 2010, p.44.

11. “Atomic Control of Doping during Si Based Epitaxial Layer Growth Processes” (**Invited Paper**), B. Tillack, Y. Yamamoto and J. Murota, 4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (218th Meeting of the Electrochem. Soc.), Las Vegas, USA, Oct. 10-15, 2010, Abs.No.1917: ECS Trans., Vol.33, No.6 (Edited by D. Harame et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2010), pp.603-614 (2010).

12. “Room-Temperature Resonant Tunneling Diode with High-Ge-Fraction Strained $Si_{1-x}Ge_x$ and Nanometer-Order Ultrathin Si”, M. Sakuraba, K. Takahashi and J. Murota, 4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (218th Meeting of the Electrochem. Soc.), Las Vegas, USA, Oct. 10-15, 2010, Abs.No.1895: ECS Trans., Vol.33, No.6 (Edited by D. Harame et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2010), pp.379-387 (2010).

13. “Phosphorus Atomic Layer Doping in Si Using PH_3”, Y. Yamamoto, J. Murota and B. Tillack, 4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (218th Meeting of the Electrochem. Soc.), Las Vegas, USA, Oct. 10-15, 2010, Abs.No.1958: ECS Trans., Vol.33, No.6 (Edited by D. Harame et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2010), pp.995-1002 (2010).

14. “Atomically Controlled Processing in Strained Si-Based CVD Epitaxial Growth” (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 10th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2010), Shanghai, China, Nov. 1-4, 2010, Proc.No.I12_05.

15. “Atomically Controlled Plasma Processing for Epitaxial Growth of Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), M. Sakuraba and J. Murota, 10th IEEE Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2010), Shanghai, China, Nov. 1-4, 2010, Proc.No.I12_07.

16. “Atomically controlled processing in strained Si-based CVD epitaxial growth” (**Invited Paper**), J. Murota and M. Sakuraba, 3rd French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (FRONTIER 2010), Albi, France, Dec. 7-11, 2010, p.55.

17. “Atomically controlled plasma processing for group IV quantum heterointegration”, M. Sakuraba and J. Murota, 3rd French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (FRONTIER 2010), Albi, France, Dec. 7-11, 2010, p.116.

18. “Formation of room-temperature resonant-tunneling quantum heterostructures with high-Ge-fraction strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100)”, M. Sakuraba and J. Murota, 3rd French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (FRONTIER 2010), Albi, France, Dec. 7-11, 2010, p.117.

共同プロジェクト研究

課題番号　H２０／A０６

採択回数	１	２	３

知的ナノ集積システムとその応用に関する研究

［１］組織

代表者：早川 吉弘(仙台高等専門学校)
責任者：中島 康治(東北大学電気通信研究所)
分担者：中尾 光之(東北大学大学院情報科学研究科)
片山 統裕(東北大学大学院情報科学研究科)
雨宮 好仁(北海道大学工学部)
浅井 哲也(北海道大学工学部)
原田 知親(山形大学工学部)
矢内 浩文(茨城大学工学部)
廣瀬 明(東京大学大学院工学研究科)
堀尾 喜彦(東京電機大学工学部)
斎藤 利通(法政大学工学部)
八木 哲也(大阪大学大学院工学研究科)
土居 伸二(京都大学大学院工学研究科)
森江 隆(九州工業大学大学院生命体工学研究科)
林 初男(九州工業大学大学院生命体工学研究科)
和久屋 寛(佐賀大学理工学部)
引原 隆士 (京都大学工学部)
上田 哲士 (徳島大学工学部)
西尾 芳文 (徳島大学工学部)

研究費：校費 24 万 4 千円，旅費 43 万 4 千円

［２］研究経過

知的な情報処理に関する研究開発の重要性は高まる一方であり、本プロジェクトでは生物神経系の実験的研究、脳の情報処理原理を活用したシステム(ニューラルネッ トワーク)の可能性の論理的検討を行い、ハードウェア化をも視野に入れた新たな情報処理システムを原理的な観点から追求すると同時に、その応用の可能性についても基礎研究を行う。これまでの実践的および論理的研究によってニューラルネットワークの可能性について様々な事実が蓄積されてきたが、本質的には、緩い意味で「人間とコンピューターでは得意課題が排他的である」という程度の理解しか得られていない。それは、ひとつには超並列なデータを処理するアーキテクチャーが明確になっていないこと、その他にはそもそも膨大な並列データの取捨選択方式が未知であることが理由である。実験、理論、実践をとおして現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人間と機械の自然な対話環境実現のための基礎を築くことを目的とする。そこで広くプロジェクト構成メンバー間の相互理解を深めるため平成22年8月20日に第一回目の、平成23年3月7日に第二回目の共同プロジェクト研究会を、東北大学電気通信研究所にて実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである(発表順)。

【第一回共同プロジェクト研究会】

「大脳基底核線条体における自発カルシウムリズム」
小山内 実(東北大学医学系研究科)

「視覚野神経回路網応答の実時間再構成」
八木 哲也(大阪大学)

「パルス変調方式による位相振動子回路と画像処理モデルへの応用」
森江 隆(九州工業大学)

「脳神経回路における薬物作用のシミュレーション」
桜井 伊知郎(東北大学電気通信研究所)

「ハイブリッド系の可到達集合を用いた解析」
引原 隆士(京都大学大学院工学研究科)

「形状が時間的に変化するニューラルネットワークの応用 － マインスウィーパーへの挑戦 －」
早川 吉弘(仙台高専)

【第二回共同プロジェクト研究会】

「神経回路構造が神経素子活動に与える影響」
石田 文彦(富山高専)

「非同期セルオートマトンによる神経細胞ダイナミクスのモデル化」
鳥飼 弘幸(大阪大学)

「ニューロ様断熱的量子計算のエネルギー散逸とHamiltonian 構成法に関する考察」

金城 光永(琉球大学)

［3］成果

（3－1）研究成果

生理学的な生体内情報処理の理解・応用を目指した研究成果として、脳内の線条体の細胞に対して細胞内カルシウム($[Ca^{2+}]_i$)イメージングによる細胞活動の計測による解析手法を用いた成果が示されるとともに、他方では、薬物に対する生体の影響を神経回路網の数値シミュレーションを用いた予測を使って生理学的な実験結果を説明しようという試みが示された。

ハードウェア化を目指した研究成果としては、画像処理を目指した応用において、パルス変調方式による位相振動子回路を提案し、それらを使うことで新しい画像処理が可能であることが示された。また、神経細胞モデルのミクロなダイナミクスを再現可能なより実用的なハードウェアを実現することは重要であり、その一つの方向性となり得るFPGA上に構築可能な神経細胞ダイナミクスのモデル化手法が提案された。

また、平成22年12月1日の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2010 において、「ニューラルネットワークシステムとその応用(早川吉弘)」について、低炭素社会の実現に必要なコスト問題など、人の判断を支援する機械の基盤技術として重要であると考える、逆関数遅延ニューロンモデルを使った、組合せ最適化システムの研究成果について最終報告を行った。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにでは、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学等に幅広い分野の研究者の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成しているため、従来通り「International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications」をはじめとする様々な分野の国際会議においてその成果を発信することができ、現コンピューターでは克服しきれない知的処理の課題を補間する近未来の情報システムの議論の場所を作り上げることができたと考えている。そのために本プロジェクト研究の成果は、学術的あるいは技術的に、これまで克服困難であった人間らしい知的情報処理を克服する方向を示すと同時に、ナノスケール集積化をも視野に入れた研究であるために携帯性や人間との親和性が重視される環境での小型ヒューマンインターフェイス等へ応用する技術を示す上での重要な示唆を与えると予想される。

［4］成果資料

(1) A.Hirose, "Nature of complex number and comlex-valued neural networks (invited)", Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 6, 1 (2011) 171-180

(2) R.Natsuaki A.Hirose, "SPEC method - A fine co-registration method for SAR interferogram", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 49, 1 (2011) 28-37

(3) Y.Nakano A.Hirose, "Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-SOM", Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems 12, 1 (2010) 23-28

(4) A. Handayani A.B.Suksmono T.L.R.Mengko A.Hirose, "Blood Vessel Segmentation in Complex-Valued Magnetic Resonance Images with Snake Active Contour Model", International Journal of E-Health and Medical Communications 1, 1 (2010) 41-52

(5) 和久屋 寛, 石隈敬浩, "SOM型パターン生成器: 自己組織化マップの逆投影に基づいた新規パターンの生成とその応用", 電気学会論文誌C, Vol.130-C, No.5, pp.882-888, 2010.05

(6) Hiroshi Wakuya and Masaya Mutsukado, "Biomimetic signal decomposition by a neural network with structural pruning", ICIC Express Letters — An International Journal of Research and Surveys, Vol.4, No.6(B), pp.2397-2402, 2010.12

(7) K. Hisamatsu and T. Saito, "Basic Dynamics of Simple Delay-Coupled Bifurcating Neurons", IEICE Trans. Fundamentals, E94-A, 3, pp. 1006-1009 (2011)

(8) Yuuichi Yokoi and Takashi Hikihara, "Tolerance of start-up control of rotation in parametric pendulum by delayed feedback", Physics Letters A, 375, 17, 1779-1783 (2011).

(9) Suketu Naik and Takashi Hikihara, "Characterization of a MEMS resonator with extended hysteresis", IEICE ELEX,Vol.8, No.5, pp.291-298 (2011).

(10) 横井裕一, 引原隆士, ″パラメトリック振子の周期回転への始動制御″, システム制御情報学会論文誌, Vol.24,No.3, pp.54–60 (2011).
(11) 潘振興, 土居伸二, ″Hodgkin–Huxley 方程式の大域的分岐構造とパラメータ依存度″, 電気学会論文誌C 131, pp.514–520 (2011).

(12) Ueno K., Asai T., and Amemiya Y., ″Low-power temperature-to-frequency converter consisting of sub-threshold CMOS circuits for integrated smart temperature sensors,″ Sensors and Actuators A: Physical, vol. 165, no. 1, pp. 132–137 (2011).

(13) Akou N., Asai T., Yanagida T., Kawai T., and Amemiya Y., ″A behavioral model of unipolar resistive RAMs and its application to HSPICE integration,″ IEICE Electronics Express, vol. 7, no. 19, pp. 1467–1473 (2010).

(14) Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., ″A 1-uW, 600-ppm/° C current reference circuit consisting of sub-threshold CMOS circuits,″ IEEE Transactions on Circuits and Systems II, vol. 57, no. 9, pp. 681–685 (2010).

(15) Asai S., Ueno K., Asai T., and Amemiya Y., ″High-resistance resistor consisting of a subthreshold CMOS differential pair,″ IEICE Transactions on Electronics, vol. E93–C, no. 6, pp. 741–746, (2010).

(16) Tsugita Y., Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., ″An on-chip PVT compensation technique with current monitoring circuit for low-voltage CMOS digital LSIs,″ IEICE Transactions on Electronics, vol. E93–C, no. 6, pp. 835–841, (2010).

(17) Hirai T., Asai T., and Amemiya Y., ″CMOS phase-shift oscillator based on the conduction of heat,″ Journal of Circuits, Systems, and Computers, vol. 19, no. 4, pp. 763–772, (2010).

(18) Hatsuo Hayashi and Yukihiro Nonaka, ″Cooperation and competition between lateral and medial perforant path synapses in the dentate gyrus″, Neural Networks, Vol.24, No.3, pp.233–246, 2011.

(19) T. Onomi, Y.Maenami, and K.Nakajima, “Superconducting Neural Network Solving a Combinatorial Optimization Problem”, 2010 Applied Superconductivity Conference, Washington D.C., USA, 2010

(20) R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, “4-bit SFQ Multiplier Based on Booth Encoder” , 2010 Applied Superconductivity Conference, Washington D.C., USA, Aug. 2010

(21)S. Sato, A. Ono, M. Kinjo, and K. Nakajima, “Performance of Adiabatic Quantum Computation using Neuron-like Interconnections” , Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 39–42, Krakow, Poland, Sep. 2010

(22) T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Discrete Higher Order Inverse Function Delayed Network”, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 615–618, Krakow, Poland, Sep. 2010

(23) K. Kurose, T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Analyses of Coupled Hindmarsh-Rose Type Bursting Oscillators”,Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 619–622, Krakow, Poland, Sep. 2010

(24) T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Discrete Higher Order Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems”, Proceedings of the 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, pp. 143–144, Sendai, Japan, Oct. 2010

(25) R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, “High Throughput Parallel Multiplier of SFQ Circuits based on the Booth Encoder”, Proceedings of the 3rd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, p. 172, Sendai, Japan, Oct. 2010

課題番号　Ｈ２０／Ａ０７

採択回数	１　２　③

有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究

［１］組織
代表者：廣瀬　文彦
（山形大学理工学研究科）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
林靖彦　（名古屋工大）
小野　幸子　（工学院大学）
玉田薫　（東北大学電気通信研究所）
宇佐美徳隆　（東北大学金研）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：材料費 26.2 万円，旅費 38.5 万円

［２］研究経過

本研究では、界面修飾による色素増感太陽電池の高効率化と、n 型無機 Si と有機半導体との有機無機ヘテロ接合太陽電池の電荷分離機構の研究を進めた。前者の研究では、発電界面となる、色素と酸化チタンの界面の構造解析から得られた界面処理法を活用し、国内ではトップに近い発電効率 9.6%を実現した。また後者の研究では、塗布形成可能な有機半導体である poly-3-hexylthiophene(P3HT)を材料とした有機無機ヘテロ電池を試作し、V-I 特性からバンドダイアグラムを明らかにし、電荷分離機構や開放電圧の成因を考察した。また、さらなる高効率化のためのアイデアを抽出した。本研究成果に関する討論を行うため有機太陽電池分野で活躍されている研究者を招へいし、電気通信研究所ナノスピン実験施設で研究会を開催した（2011 年２月）。

[３]成果

（３－１）研究成果

色素増感太陽電池においては、高密度色素吸着法として、酸化チタンの UV 処理による吸着サイト形成技術と高温溶媒を用いた飽和吸着促進装置を開発した。漏れ電流抑制法として、酸化チタンと透明導電膜界面の処理方法を開発した。その成果として、発電効率 9.6%を実現した（図 1）。これら成果は、論文発表３件の実績につながった。

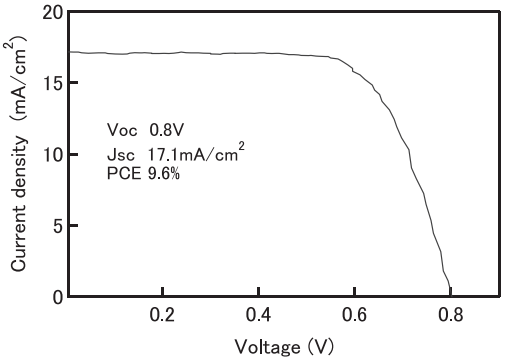


図１　本プロジェクトで試作した色素増感太陽電池の発電特性　照射条件は AM1.5-100mW/cm^2。

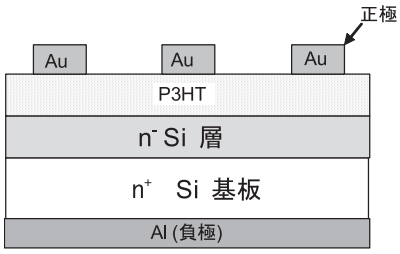


図２　P3HT/n$^-$ Si 有機無機ヘテロダイオード

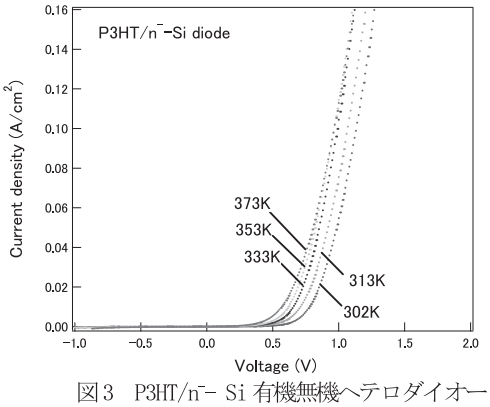


図３　P3HT/n$^-$ Si 有機無機ヘテロダイオードの V-I 特性

有機無機接合として、我々は塗布形成可能な有機半導体である P3HT と n 型 Si で、図２に示される構造のダイオードを作製した。その結果、図３のような良好な整流特性を得ることができた。

この接合に関して、ショットキーパラメータの解析を行ったところ、ショットキー障壁が 0.75eV であることがわかった。Si 側でバンドの曲がりを生じ

ており、その拡散電位は 0.4V であることがわかった。したがって、光を入射させると、図４に示されるように発電し、AM-1.5、100mW の人工太陽光の照射で発電効率 0.4%を記録した。

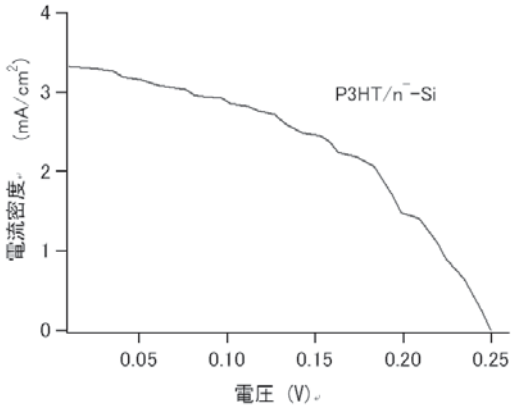


図４　P3HT n-Si 太陽電池の発電特性

（３－２）波及効果と発展性など

本研究で開発した有機無機ダイオードは、単純に Si 膜に有機溶剤に溶いた P3HT を塗布するだけで製作したもので、ほぼ室温で形成できるという低温簡易形成のメリットがある。n 型 Si は単膜であればプラズマ CVD 等でフレキシブルフィルムにも形成可能である。発電性能は 1%未満ではあるが、情報端末の回路駆動には十分であり、フレキシブルエレクトロニクスへの応用が期待できる。

フレキシブル太陽電池として、現在バルクヘテロ型の有機太陽電池の研究が盛んに行われているが、多くの有機太陽電池は光の吸収帯域として、緑から青の波長領域に限定される。赤から赤外領域での発電については、よい材料がみつかっておらず、タンデムタイプが模索されている。今回の有機無機ヘテロダイオードは、Si 領域での発電になるので、赤から赤外にかけて高い感度が期待される。今回の成果は、バルクヘテロ型有機太陽電池をトップに、有機無機ダイオードをボトムとしたタンデム太陽電池への応用も可能と考える。今後も、有機無機界面の処理を検討して、発電性能を高めるための試験を続行する予定である。さらに、本研究の成果を持って、NEDO 等の実用化研究につなげる予定である。

［4］成果資料

1) “IR study on N719 dye adsorption with a high-temperature dye solution for highly efficient dye sensitized solar cells”, F. Hirose, M. Shikaku, Y.Kimura, M. Niwano, *J. Electrochemical Society*, Vol.157, No.11,B1578-B1581(2010).

2) “P3HT/Al organic/inorganic heterojunction diodes investigated by I-V and C-V measurements”, F. Hirose, Y. Kimura, M. Niwano, *IEICE Transactions on Electronics* Vol.92-C, No12(2009)1475-1478.

3) “Adsorption density control of N719 on TiO_2 electrodes for highly efficient dye sensitized solar cells”, F. Hirose, K. Kuribayashi, M. Shikaku, Y. Narita, Y. Kimura, M. Niwano, *Journal of Electrochemical Society*, Vol.156,No.9, (2009)B987-B990

4) “Growth kinetics of SiO_2 Atomic layer deposition with tris(dimethylamino)silane (TDMAS) adsorption, ozone and water vapor”, F. Hirose, Y, Kinoshita, S. Shibuya, H. Miya, K. Hirahara, Y. Kimura, M. Niwano, *Thin Solid Films*Vol.519 (2010) 270–275.

採択回数　1　2　(3)

採択番号　Ｈ２０／Ａ０８

イオンチャネルチップに関する研究

［1］組織
代表者：菅原　正雄
（日本大学文理学部）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
井出　　徹（大阪大学大学院生命機能研究科）
宇理須恒雄（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
手老　龍吾（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
星野　忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
荻野　俊郎（横浜国立大学大学院工学研究院）
谷井　孝至（早稲田大学大学院）
神谷　温之（北海道大学大学院医学研究科）
片山　統裕（東北大学大学院情報科学研究科）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学大学院医工学研究科）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費 22 万９千円，旅費 37 万円

［2］研究経過

バイオの時代と言われる２１世紀においては，現在の半導体加工技術をバイオテクノロジーと融合することにより，バイオテクノロジーのさらなる高度化が強く望まれている. 特に, その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題である．この融合が実現すれば，生体情報を物理信号に変換し，また，逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ･インタフェイスシステムが構築でき，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献すると期待されている.

本研究では，生体高分子の中でも特に創薬の観点から注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に，半導体ナノ微細加工技術との融合により，新規なバイオ電子デバイスとしてのイオンチャネルチップやアレイの開発を目指している．具体的には，半導体微細加工技術やナノ構造体の融合により，新しいハイスループットな機能解析法としてのイオンチャネルチップおよびイオンチャネルアレイを開発する．この技術が開発されれば，イオンチャネルタンパク質と神経伝達物質との相互作用のような生体物質の微視的相互作用（生体反応）の高精度な"その場"分析などへの応用が可能となる．また，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの分野の更なる発展にも貢献できる．半導体工学の研究者とチャネル研究の分野で活躍する研究者とが協力して，新しいバイオエレクトロクスの分野を開拓すると期待される.

本プロジェクトは，本年度が第３年度であり，イオンチャネルの機能発現に必須のマトリクスである脂質二分子膜を半導体材料表面に集積するための新規ナノ構造プロセスを開発した. 半導体微細加工や, ナノポーラス構造体を用いた新しい人工細胞膜デバイスの設計と作製を行い，チップ化・アレイ化への障害となっている脂質二分子膜の機械的脆弱性の問題についての検討を行った．さらに，生体組織より抽出したイオンチャネルタンパク質を，構築した人工脂質二分子膜系に包埋するため，ラット脳からのグルタミン酸レセプターチャネルの抽出に着手し、活性を保持した状態でのチャネルタンパク質の抽出に成功している。また、平成 23 年 1 月 25 日，および平成 23 年 2 月 3 日には, ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて, 共同プロジェクト研究会を開催し, 周辺領域の研究者との交流を行うとともに，勉強の場とした．以下にその概要を示す.

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成 23 年 1 月 25 日（火）13:30〜17:30
場所：　東北大学電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
４階カンファレンスルーム
テーマ：「人工細胞膜の創製と構造・機能解析」

「周波数変調原子間力顕微鏡による生体分子イメージングおよび局所水和構造可視化」
山田　啓文　（京都大学工学部）
「固体表面に支持された脂質二重膜の相分離制御」
荻野　俊郎，　磯野　俊成　（横浜国立大学大学院）

「固体基板表面におけるパターン化人工生体膜の構築」　森垣　憲一　（神戸大学自然科学系先端融合研究環遺伝子実験センター）
「半導体加工に基づくイオンチャネルチップの開発」　平野　愛弓　（東北大学大学院医工学研究科）
「K チャネルゲートの AFM による操作」
井出　　徹　（理化学研究所・大阪大学大学院）
「脂質二分子膜とチャンネルを用いる物質検知法」
菅原 正雄　（日本大学文理学部化学科）

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成 23 年 2 月 3 日（木）13:30〜17:10
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム
「走査型トンネル顕微鏡発光によるバイオ･マテリアルの物性研究」
上原　洋一　（東北大学電気通信研究所）
「ミトコンドリア内膜の状態変化とシトクロム c の漏出」
篠原　康男　（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
「細胞間ネットワーク構築の時空間的制御が可能なプラットフォームの開発」
坪川　浩･岡野和宣　（東北福祉大学感性福祉研究所）
「神経回路における薬物作用と発振現象のシミュレーションに関する研究」
桜井　伊知郎　（東北大学大学院工学研究科）
「身体が表現する行動要素の組み合わせコードとしての脳」　　中村　俊（東京農工大学工学研究院）

［3］ 成果
（3－1）研究成果
本年度は，以下に示す研究成果を得た．
nm スケールの規則的なナノポア構造を有するポーラスアルミナフィルムを作製し，そのナノ孔中での脂質二分子膜形成を行うことにより，厚さ 4-5 nm のナノ薄膜である脂質二分子膜の安定化について検討した．ポーラスアルミナフィルムは，孔径 200–350 nm，厚さ 200–500 nm となるように作製した（図 1）．このナノ孔の中での膜形成を行った結果，約 80%の確率で膜抵抗値が 1 GΩ以上の人工膜が形成された．このようにして形成された脂質二分子膜は，特性膜容量が 0.39±0.3 μF/cm^2，ノイズ電流 (peak-to-peak) が 1-1.5 pA と良好な電気特性を示し，コンダクタンスの低いグラミシジンチャネルのシングルチャネル電流を明瞭に記録することに

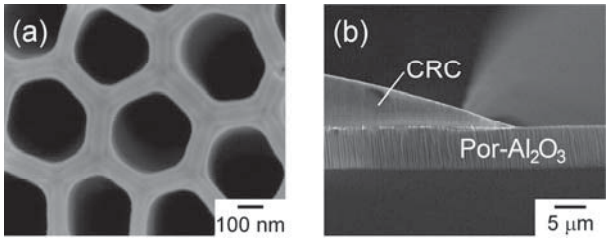


図 1．作製したポーラスアルミナフィルムの SEM 像

成功した．また，数 ms〜数 10 ms オーダーで高速開閉・遷移するアラメチシンチャネル電流も，明瞭なステップ状の電流信号として観測することができ，本膜系がノイズレベル，過渡応答特性ともに，生体チャネル信号計測に優れた特性をもつことを示した．さらに、二分子膜の安定性の評価を行った結果、±1 V の耐電圧性（71 %）と 16-30 時間の膜寿命が得られ、従来の二分子膜に比べて著しい膜強度の向上が観測された．今後は，生体から抽出した受容体チャネルをセンシング素子として包埋したイオンチャネルセンサへの展開が期待される．その第一歩として，グルタミン酸受容体チャネルをラット大脳より抽出し，構築した脂質二分子膜系に包埋して，グルタミン酸を投与した際のチャネル電流を記録することについても検討を行った．今後は，効率のよいチャネルタンパク質の包埋と，ノイズ電流の軽減について検討を行い，センサーとしての特性（感度，選択性，応答速度，再現性，耐久性）について評価する．また，多数個の孔の同時加工が容易であるという半導体微細加工の特徴をいかし，イオンチャネルアレイについても展開する．

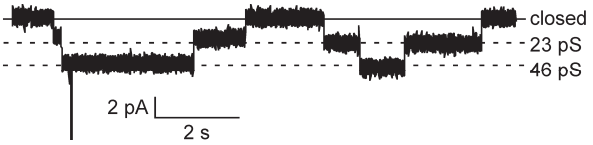


図 2．グラミシジンシングルチャネル電流の例

（3－2）波及効果と発展性など
半導体とバイオ素子との融合を目指す研究は，近年，ますます盛んになっている．特に，イオンチャネルタンパク質は，創薬における主要ターゲットであり，イオンチャネルチップの開発は新規な high throughput screening 法としての期待も大きい．また，受容体チャネルは神経シナプス後膜での情報伝達を担っており，固体デバイスとチャネルタンパクとの結合部は，その実現が望まれているブレイン・マシン・インターフェイスにおける接合部にも相当する．この分野は今大きな発展を迎える時期にあり，今後の研究の進展が大いに期待される．

［4］ 成果資料

（1）Ayumi Hirano-Iwata, Tasuku Taira, Azusa Oshima, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films”, Appl. Phys. Lett., 96, 213706 (2010).

（2） Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Tomohiro Nasu, Tasuku Taira, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication”, Supramolecular Chemistry, 22, 405-411 (2010).

（3）Ayumi Hirano-Iwata, Kouji Aoto, Azusa Oshima, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Free-Standing Lipid Bilayers in Silicon Chips—Membrane Stabilization Based on Microfabricated Apertures with a Nanometer-Scale Smoothness”, Langmuir, 26, 1949–1952 (2010).

（4）Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Kota Onodera, Kouji Aoto, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Self-formation of bilayer lipid membranes on agarose-coated silicon surfaces studied by simultaneous electrophysiological and surface infrared spectroscopic measurements“, Appl. Phys. Lett., 94, 243906-1-3 (2009).

（5）Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Ko-ichiro Miyamoto, Hiroko Isoda and Hitoshi Miyazaki, “*In situ* real-time monitoring of apoptosis on leukemia cells by surface infrared spectroscopy”, J. Appl. Phys., 105, 024701-1-7 (2009).

（6）Ayumi Hirano-Iwata, Ryo-taro Yamaguchi, Ko-ichiro Miyamoto, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “In situ real-time monitoring of biomolecular interactions by using surface infrared spectroscopy”, J. Appl. Phys., 105, 102039-1-11 (2009).

（7）Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, and Masao Sugawara, “The Design of Molecular Sensing Interfaces with Lipid Bilayer Assemblies”, Trends in Anal. Chem., 27, 512-520 (2008).

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２０／Ａ０９

採択回数	１　２　(３)

人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究

［１］組織
代表者：佐藤　雅之
（北九州市立大学国際環境工学部）
対応者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
古賀　一男
（名古屋大学エコトピア科学研究所）
十河　宏行
（愛媛大学法文学部）
渡邊　淳司
（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
松宮　一道
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費２０万８千円，旅費２５万５千円

［２］研究経過

本プロジェクトの目的は，①サッカード眼球運動時の誤定位，②サッカード時の変位抑制におけるブランク効果および③ランドマーク効果に関して詳細な心理物理実験を行うことにより，人間の眼球運動時の視野安定機構における網膜座標系の変換と網膜情報の統合過程について検討することである．

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった．前年度は，サッカード時の変位抑制におけるブランク効果とランドマーク効果の大きさを色刺激と輝度刺激で比較した．ブランク効果については，輝度刺激においてはその効果が確認されたが，色刺激ではその効果が認められなかった．ランドマーク効果については，輝度刺激の場合よりも色刺激においてその効果が顕著であった．前年度に用いた刺激では，刺激の色の違いとともに，その視認性にも違いがあった．輝度刺激に比べて色刺激ではその見かけのコントラストが低かった．そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，これらの効果におけるコントラストの影響に関する研究を展開した．

実験１は北九州市立大学の佐藤研究室で行った．実験２はそれと平行して本所の塩入研究室で行った．平成２３年２月２８日～３月１日に本所でミーティングを行い，実験結果について討論した．

［３］成果

（３－１）研究成果

実験1：視覚ターゲットのコントラストがサッカード変位抑制におけるブラン効果におよぼす影響

（１）色・輝度刺激の見えのコントラストの比較

前年度の実験で用いた視覚ターゲットは標準偏差 0.5° の２次元ガウシアンであった．これを 19.1 cd/m² の一様な背景上に呈示した．輝度刺激の背景はグレーであった．ターゲットの最大輝度は 83.2 cd/m² であった．色刺激の背景は赤であった．ターゲットは背景と等輝度の緑のガウシアンであった．

まず，色刺激と見えのコントラストが等しい輝度刺激のコントラストを測定した．色刺激と輝度刺激を並置した．被験者は，色刺激と輝度刺激の見かけのコントラストが等しくなるように輝度刺激のコントラストを調整した．

図１に実験結果を示す．輝度刺激のコントラストを 20%～80%程度に低下させたときに色刺激と見えのコントラストが等しくなることがわかる．

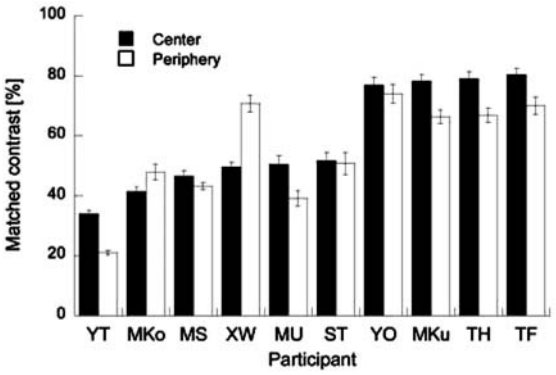


図１．色刺激と見えのコントラストが等しい輝度刺激のコントラスト．

（２）輝度ターゲットのコントラストがブランク効果におよぼす影響

次に，輝度刺激のコントラストを低下させたときにブランク効果の大きさがどのように変化するかを測定した．

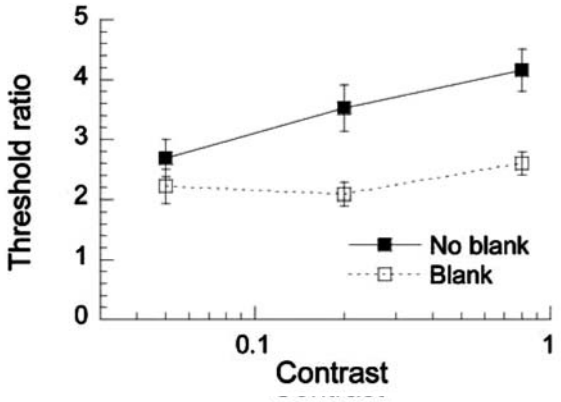


図２．固視時の変位検出閾に対する
サッカードの閾値

背景の輝度は，前年度同様，19.1 cd/m² であった．ターゲットの最大輝度は 3.2 cd/m²，12.8 cd/m²，51.3 cd/m² の３通りであった．これは，前年度に用いた刺激の 5%，20%，80%のコントラストに相当する．その他の実験条件は前年度の実験と同様であった．

図２に実験結果を示す．固視時の変位検出閾に対するサッカード時の変位検出閾の比をプロットした．

ブランクがあるとき（□）のサッカード時の変位検出閾は固視時の２倍程度であり，これは，ターゲットのコントラストにあまり依存しないことがわかる．一方，ブランクがないとき（■），すなわち，サッカード直後に位置を変えたターゲットが呈示されたときには，その存在によって変位の検出閾が固視時の４倍程度にまで上昇することがわかる．これは，ターゲットのコントラストが高いときに顕著であり，コントラストが低いときにはブランクがある条件と差が見られない．

（3）結論

前年度の実験とこれらの実験の結果から，次の結論が導かれる．

① ブランク効果はターゲットのコントラストの影響を受ける．コントラストが高いときにブランクの効果が顕著になる．
② 等輝度の色刺激ではブランク効果は見られない．
③ サッカードの直後に存在する網膜像がサッカード前後の視覚情報統合の基準として用いられ，そのとき，ある程度コントラストの高い輝度情報が重要であり，色情報はこの役割を担っていない．

実験2：視覚ターゲットのコントラストがサッカード時の変位検出におけるランドマーク効果におよぼす影響

ランドマーク効果におけるターゲットのコントラストの影響をブランク効果と比較した．

ランドマーク効果の場合もブランク効果と同様にターゲットのコントラストが高いときに正答率が上昇することが明らかになった．

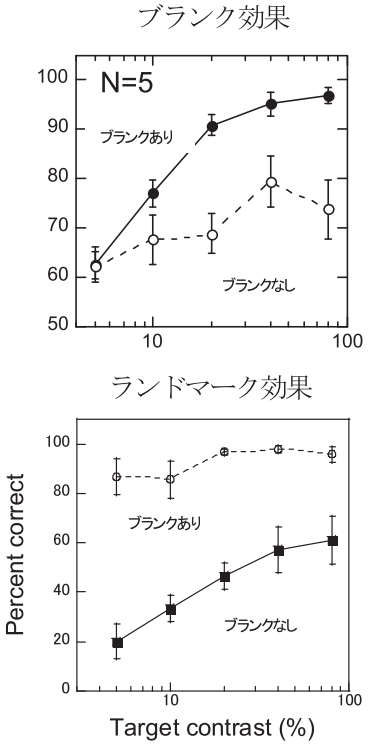


図３．ブランク効果とランドマーク効果における
ターゲットのコントラストの影響

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，サッカード時のブランク効果やランドマーク効果が刺激の色，輝度，コントラストの影響を強く受けることが明らかになった．

色刺激ではこれらの効果はほとんど見られない．これは，サッカード前後の視野統合・安定において Parvocelluar-Ventral 系の What システムよりも Magnocelluar-Dorsal 系の Where システムが重要な役割を果たしているという予測と一致している．

本研究によって明らかになったコントラスト特性を利用して，脳イメージング研究によりサッカード前後の視野統合が頭頂系のどの部位で行われているのかを解明することが今後の課題として重要である．

［4］成果資料

(1) Naoko Teraue, Yasuaki Tamada, and Masayuki Sato: The blanking effect in saccadic suppression of image displacement for isoluminant target. The 5th Asia-Pacific Conference on Vision, Brisbane, July 2008.

(2) 寺上奈保子・佐藤雅之：等輝度ターゲットに対するサッカード変位抑制におけるブランク効果. 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 福岡, 2009年10月.

(3) 松宮一道・佐藤雅之・塩入諭：サッカード時のランドマーク効果におけるコントラスト依存性. 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 仙台, 2010年10月.

(4) 王昕・佐藤雅之・玉田靖明：サッカード変位抑制におけるブランク効果のコントラスト依存性. 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011年1月.

(5) 松宮一道・佐藤雅之・塩入諭：サッカード時の変位知覚における過渡信号の役割. 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011年1月.

(6) 王昕・佐藤雅之・玉田靖明：ターゲットのコントラストがサッカード変位抑制におけるブランク効果におよぼす効果. 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 東京, 2011年3月.

(7) Xin Wang, Naoko Teraue, Yasuaki Tamada and Masayuki Sato: Post-saccadic target blanking prevents saccadic suppression of displacement for achromatic but not for chromatic target. The 16th European Conference on Eye Movements, Marseille, 2011年8月.

(8) 佐藤雅之・寺上奈保子・王昕・玉田靖明・松宮一道・塩入諭：等輝度ターゲットに対するサッカード変位抑制におけるブランク効果（投稿準備中）

(9) Kazumichi Matsumiya, Masayuki Sato and Satoshi Shioiri: Contrast dependency of saccadic blanking effect and landmark effect. Journal of Vision (in preparation)

採択回数	1　2　③

採択番号　Ｈ２０／Ａ１０

バイノーラル技術における音像定位の学習効果

［１］組織
代表者：小澤　賢司
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）
研究費：物件費 19 万 9 千円，旅費 19 万 8 千円

［２］研究経過

グローバル化が進む社会のインフラストラクチャとして，高臨場感通信技術の発展は必須のものである．遠隔会議システムにおいて映像チャネルに障害が発生した場合でも音声チャネルさえ利用できれば電話会議が実現できるように，音声通信は人間同士のコミュニケーションの基本要素であると考えられる．また，コンサートホールでの演奏を精密に再生するといった場合には，音響通信が人間の感動といった高次の感性情報までを担うチャネルとなる．本プロジェクトは，このような音響に関わる高臨場感通信の実現手法の一つであるバイノーラル技術に焦点を当てたものである．バイノーラル技術は，原音場においてダミーヘッド（音響マネキン）の両耳で録音した音を，ヘッドホンで再生することで高い臨場感を容易に実現できるため，マルチメディア環境構築の実現に有望な技術である．これまでの予備的検討により，不完全な録音再生系を用いた場合でさえ，音像定位に関して１時間程度の訓練を行えば良好な音像定位を達成できる可能性が示された．本研究では，この学習効果をより深く検討することを目的として研究を実施することとした．

本プロジェクトは，本年度が第３年度であった．初年度の成果である頭部伝達関数の精密再生手法を利用して，第２年度までに水平面内および正中面内における音像定位の学習効果について実験的検討を行った．本年度も引き続き，水平面内および正中面内における学習効果について検討した．次節にその成果を記す．なお，研究進捗については，基本的に電子メールを用いてメンバー間で協議を行った．その検討結果をまとめ，平成 23 年 3 月に東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）にメンバーが集って研究成果に関する意見交換を行うとともに，今後の発展に関して議論した．

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，昨年度に引き続き，以下に示す２テーマについて研究を行った．

(A) 水平面内の音像定位についての学習効果に関する実験的検討
(B) 正中面内の音像定位についての学習効果に関する実験的検討

これらのテーマのうち，本報告では，特に(A)に関して詳述する．(B)に関しては，詳細データを昨年度に報告しており，本年度はそのデータを分析・集約した結果を国際会議で報告したので，概要を述べるに留めることとする．

まず，ここでは，両研究テーマに共通する背景を述べる．本プロジェクトでは，音源から聴取者の鼓膜までの音響伝達関数を，頭部伝達関数（HRTF: Head-Related Transfer Function）と定義する．例えばコンサートホールといった原音場における音源の位置などの音響空間情報を，例えば自宅のリスニングルームなどの再生音場において精密に再現することは，原音場の HRTF を精密に再現することと等価である．バイノーラル技術は，その再現を両耳の鼓膜面という限定された２点のみで行う技術である．我々人間は両耳で聴取した音だけで周囲の３次元音環境を知覚していることから，HRTF には音像定位を知覚するのに十分な情報が含まれている．それらは，両耳間時間差（ITD: Interaural Time Difference），両耳間強度差（ILD: Interaural Level Difference），そしてスペクトラルキュー（音源方向によって変化する HRTF の特徴）である．

このうち，音像の方位角の知覚に関しては ITD と ILD が支配的要因であり，一方，仰角の知覚にはスペクトラルキューが関係していることが知られている．そこで，昨年度は，まず正中面（両耳から等距離にある点の軌跡）内における音像定位を取り上げて検討した．これは，正中面内に音源がある場合には，ITD も ILD も０であるので，音像定位におけるスペクトラルキューの学習効果のみを検討すること

ができると考えたからである．それに対して，本年度は水平面内における音像定位に関して重点的に検討した．方位角の知覚についてはITDとILDが支配的であるが，前後判定に関してはスペクトラルキューが関与していることから，水平面内では，総合的な学習が必要とされる．

(A) 水平面内の音像定位についての学習効果に関する実験的検討（成果資料［1］）

昨年度に実施した正中面内の実験から，1セッション（15分程度）の訓練を行うだけで効果があることが示されたので，2セッションの訓練を行い，学習効果を観測することとした。

音像の定位訓練および定位実験を行うために，タッチパネルによる実験システムを構築した．実験時にディスプレイに表示される画面を図1に示す．被験者の頭部を中心とした平面図であり，定位実験時に被験者が回答方向を入力すると，その位置に黒点が表示される．定位訓練時は，被験者が回答し黒点が表示された後，画面右側のfeedbackボタンを押すことで，正確な音像位置に赤点が表示される．また，それと同時にテスト音が再提示される．正確な音像位置とテスト音のフィードバックは，被験者が納得するまで繰り返し提示が可能である．

実験は，定位訓練とその前後の定位実験（Pre及びPostテスト）によって構成した．訓練（Train）は2回行い，初日にPreテストとTrain1，翌日にTrain2とPost1テスト，そしてPost1の1週間後にPost2テスト，さらにPost1の1ヶ月にPost3テストを行った．

テスト音には，東北大学電気通信研究所の無響室で測定した，ダミーヘッド(Koken, SAMRAI）の鼓膜面でのHRTFを用いた．水平面上5°間隔で72方向のHRTFセットを，15°間隔で各24方向3セットに分け，それぞれをPre—Postテスト，Train1，Train2に用いた．これは，テストと訓練で同一方向の音を用いないためである．Pre—Postテスト用には白色雑音（継続時間：1 s）と音楽（6 s，H's Band,

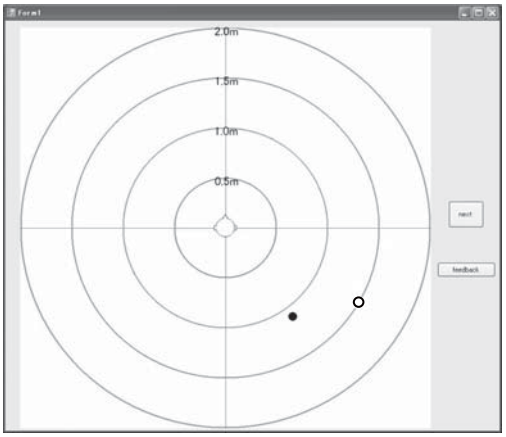


図1：訓練システム画面（●は被験者による回答，○は被験者にフィードバックした正解位置）．

"The Ramp," RWCMDB-G-2001 No. 33）を畳み込み，Train用には白色雑音（1 s）を畳み込んだ．なお，本研究では，HRTFのスペクトラルキューによる判断に関しての効果を検討するので，被験者の外耳特性を消去すべく被験者本人のヘッドホン逆特性を用いた補正を行った．Pre及びPostテストでは，被験者はヘッドホン（Shennheiser HD 600）からテスト音を聴取し，方向を回答した．テスト音は白色雑音と音楽の2種類で，0°から始まる15°間隔，24方向を各3回で計144種類をランダム順に試行した．Trainでは，方向を回答した後，納得するまでフィードバックを受けた．テスト音は白色雑音のみで，Train1では5°から始まる15°間隔の24方向を各3回で計72種類をランダム順に試行した．またTrain2では10°から始まる15°間隔24方向を各3回，それぞれ72種類をランダム順に試行した．被験者は成人男性6名，女性5名の計11名である．

実験結果の一例として，被験者2に関して，音楽についての音像定位方向（方位角）の変化を図2に示す．図の縦軸，横軸ともに，正面を0°とする方位角であり，右上がりの対角線上にデータが載っていれば，提示された角度に音像を定位していることを表している．この結果に見られるように，雑音で

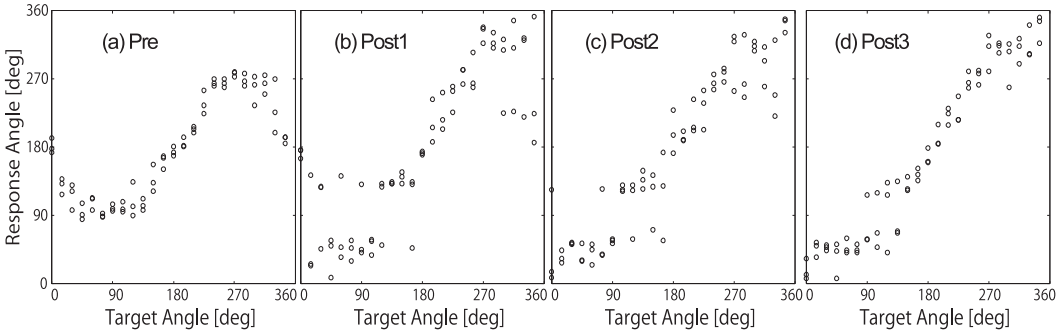


図2：提示した音楽信号の水平角と，被験者が回答した音像の水平角の関係（被験者2）

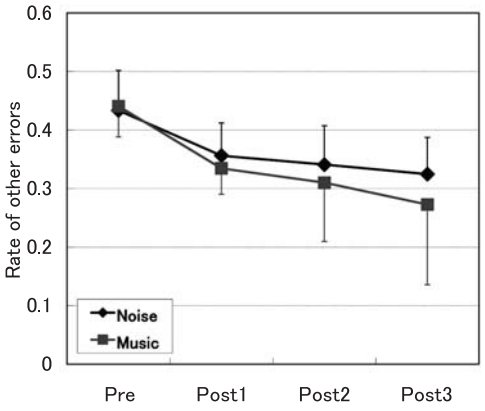


図3：被験者全員についての前後誤り以外の定位エラー率と被験者間標準偏差

訓練しているにも拘わらず，音楽についても音像定位の改善がある．訓練前(Pre)では，提示された0°の刺激を180°に定位するといった前後誤りがあるが，わずか1回の訓練で顕著な改善がある．また，前後誤り以外に，訓練前では側方（90°，270°）に回答が多く集まっていることから，前後誤り以外の定位誤りが多いことが分かり，その改善が顕著である．図3は，被験者全員についての，前後誤り以外の定位誤り（other errors)の発生率と，その標準偏差を示したものであり.「実験フェイズ(水準:Pre, Post1, Post2, Post3)」「テスト音の種類（水準：雑音，音楽)」を要因とする二要因分散分析の結果，実験フェイズの主効果が有意であった($F(3, 80) = 12.83$, $p < 0.001$)．一方，テスト音の種類の主効果（$F(1, 80) = 2.09$, $p > 0.1$)，および交互作用（$F(3, 80) = 1.52$, $p > 0.1$)は有意ではなかった．以上から，訓練は定位誤差の減少に有効であったといえ，さらに雑音を用いた訓練は音楽についても効果があったことから，被験者が音色を覚えていたのではなく，スペクトラルキューに基づく方向判断能力が訓練によって向上したといえる．

以上から，前後誤りの減少という点からはスペクトラルキューの学習がなされたことに加え，前後誤り以外のエラーの減少という点からはILD, ITDについての学習がなされたことが示唆される．このように，短期間の訓練がバイノーラル技術によって再生された音の方向定位の改善に有効であり，かつその効果は1ヶ月以上も継続することから，今後，適切な訓練システムを提供することで，聴取者のHRTFの個人性に依存しないバイノーラル再生が広範に利用されることが期待できる．

(B) 正中面内の音像定位についての学習効果に関する実験的検討（成果資料［2］）

正中面についても同様に，雑音により訓練を行い，音楽を用いてテストしたところ，1回の訓練で有意な学習効果が観測された．この学習効果は，音の提示方向（仰角）と音像定位方向の差が小さくなることに加えて，音像定位方向の分散が小さくなるという観点においても見られた．また，訓練終了から少なくとも1.5ヶ月を経過した後も，学習効果が継続していることが観測された．上記の水平面内の学習効果とあわせれば，3次元空間の音像定位について短時間の学習が有効であることが示唆される．

（3－2）波及効果と発展性など

本研究プロジェクトの実施により，プロジェクトメンバー間の交流が継続的に発展した．本年度のプロジェクトの成果により，3次元音空間情報を伝達する高臨場感音響通信システムの構築のためには，複雑な信号処理を行うことは必ずしも必要ではなく，人間の学習能力を利用することの有効性が示された．このことは，3次元音空間情報伝達による視覚障害者ナビゲーションシステムの構築を容易に実現することなどへの応用が期待される．また，コンサートの高臨場感通信やビデオゲームなのどのエンタテイメント応用も可能であり，今後，様々な分野にバイノーラル技術が応用される一つの契機を与えるものと考えている．

なお，本研究チームは，本共同プロジェクト研究を通じて培った技術とチームワークをもとに，(独)情報通信研究機構（NICT）からの委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発，課題エ：感性情報認知・伝達技術」を平成21年度から受託し，分担研究者として共同して研究を進めている．

［4］成果資料

[1] D. Yamagishi and K. Ozawa, “Effects of timbre on learning to remediate sound localization in the horizontal plane,” in *Principles and Applications of Spatial Hearing* (Eds.: Y. Suzuki, D. Brungart, Y. Iwaya, K. Iida, D. Cabrera and H. Kato), 10 pages (World Scientific Publishing, Singapore, 2011).

[2] K. Ozawa and T. Sato, “Learning to remediate sound localization in the median plane using a virtual auditory display,” Proc. of the AES (Acoustical Engineering Society) 40th International Conference, #1-3 (6 pages on CD-ROM) , (2010).

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　(3)

採択番号　Ｈ２０／Ａ１１

赤外光を用いた細胞チップに関する研究

［1］組織

代表者：篠原　康雄
（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
片岡　正俊（産業技術総合研究所
四国センター）
宮崎　　均（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
礒田　博子（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
山田パリーダ（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
韓　　畯奎（筑波大学大学院生命環境科学
研究科）
岩田　博夫（京都大学再生医学研究所）
有馬　祐介（京都大学再生医学研究所）
安達　泰治（京都大学大学院工学研究科）
桂林　秀太郎（福岡大学　薬学部）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学大学院医工学研究科
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費23万2千円，旅費41万9千円

［2］研究経過

現在，半導体加工技術とバイオテクノロジーとの融合によるバイオテクノロジーのさらなる高度化が強く望まれている．特に，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系との融合を図ることが急務の課題となっている．

本研究では，多重内部反射型赤外分光法を利用し，主に細胞の動的過程を，リアルタイムかつ網羅的に解析できる高度な生体計測手法の開発を目的としてスタートしている．研究課題は，①細胞レベルの基本的変化（細胞成長，アポトーシス，分化等）を非破壊かつリアルタイムに検出すること，②ミトコンドリアのような細胞内器官の動態を低分子化合物（ATPやGTP）の濃度変化を指標にリアルタイムで検出すること，③生体分子（タンパク質や脂質分子）間の相互作用をリアルタイムに検出することとし，そのための具体的な技術開発項目としては，①検出感度を従来技術に比べ少なくとも２桁の増大，②多重計測（多サンプル計測）技術の確立，③温度や細胞培養環境などの測定環境制御法の確立，④最適な応用法の探索と実証であり，これら一連の技術を統合・集積化することにより，将来の高感度細胞チップの実現の基礎を築くことを目標とした．

本プロジェクトは，本年度が第３年度であり，①ATP 合成のような細胞内反応の非標識モニタリング，②付着細胞を対象とした長期間の細胞活動モニタリングシステムの構築，③付着細胞の分化過程の *in situ* 非標識観察，④浮遊細胞を対象とした細胞成長及び細胞応答過程のリアルタイム計測，⑤人工細胞膜形成過程の非標識リアルタイム計測，に関して集中的に検討を行った．また、平成23年1月25日，および平成23年2月3日には，ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて，共同プロジェクト研究会を開催し，周辺領域の研究者との交流を行うとともに，勉強の場とした．以下にその概要を示す．

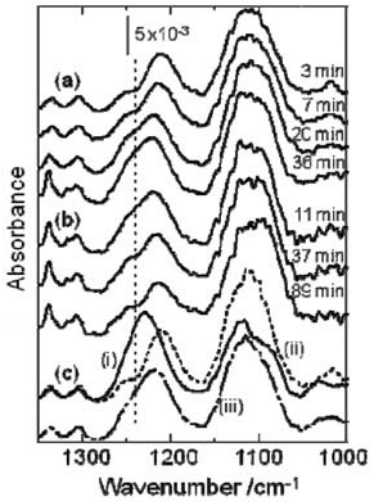
情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成23年1月25日（火）13:30〜17:30
場所：　東北大学電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
４階カンファレンスルーム
テーマ：「人工細胞膜の創製と構造・機能解析」

「周波数変調原子間力顕微鏡による生体分子イメージングおよび局所水和構造可視化」
山田　啓文　（京都大学工学部）
「固体表面に支持された脂質二重膜の相分離制御」
荻野　俊郎，　磯野　俊成　（横浜国立大学大学院）
「固体基板表面におけるパターン化人工生体膜の構築」　森垣　憲一　（神戸大学自然科学系先端融合研究環遺伝子実験センター）
「半導体加工に基づくイオンチャネルチップの開発」　平野　愛弓　（東北大学大学院医工学研究科）
「K チャネルゲートの AFM による操作」

井出　　徹　（理化学研究所・大阪大学大学院）
「脂質二分子膜とチャンネルを用いる物質検知法」
菅原 正雄　（日本大学文理学部化学科）

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成 23 年 2 月 3 日（木）13:30〜17:10
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム
「走査型トンネル顕微鏡発光によるバイオ･マテリアルの物性研究」
上原　洋一　（東北大学電気通信研究所）
「ミトコンドリア内膜の状態変化とシトクロムｃの漏出」
篠原　康男　（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
「細胞間ネットワーク構築の時空間的制御が可能なプラットフォームの開発」
坪川　浩･岡野和宣　（東北福祉大学感性福祉研究所）
「神経回路における薬物作用と発振現象のシミュレーションに関する研究」
桜井　伊知郎　（東北大学大学院工学研究科）
「身体が表現する行動要素の組み合わせコードとしての脳」　　中村　俊（東京農工大学工学研究院）

［３］ 成果
（３－１）研究成果
本年度は，以下に示す研究成果を得た．
細胞内動的過程の例として，細胞内器官の中でも特に重要な働きをもつミトコンドリアの動的過程のその場計測法について検討した．ミトコンドリアは，生体内のエネルギー通貨といわれるアデノシン 3 リン酸(ATP)を，アデノシン 2 リン酸(ADP)と無機リン酸(Pi)から合成するという重要な役割をもち，また近年ではアポトーシスや様々な疾患との関連もあることから非常な注目を集めている．本研究では，リン酸部位の赤外吸収スペクトルが ATP，ADP 間で異なることに基づいて（図(c)），ラット肝臓より抽出したミトコンドリア試料中での ATP 合成時および分解時の赤外吸収スペクトルを評価し，ADP⇔ATP 変換過程の非標識その場計測について検討した．その結果，図(a)のように、添加直後は ADP とほぼ等しいスペクトルであったのが，時間の経過とともに，ATP と ADP の和スペクトルに近づいていくことがわかる．このような変化は、ADP を非添加時や、ミトコンドリアを含まない試料に ADP を加えた場合には観測されなかった．さらに，ATP 分解を引き起こす脱共役剤を添加すると，スペクトルは徐々に変化し，最終的には，ADP 添加直後のスペクトル形状に戻った（図(b)）．以上の結果より，多重内部反射



図．ミトコンドリアの赤外吸収スペクトル
(a) ADP 添加によるスペクトル変化（ATP 合成）
(b) 脱共薬剤を添加時のスペクトル変化 (ATP 分解)
(c) (i) ATP，(ii) ADP，(iii) ATP+ADP の赤外吸収スペクトル

型赤外吸収分光法により，ミトコンドリア内の ADP⇔ATP の可逆的な変換過程を非標識にリアルタイムモニタリングすることに成功した．

（３－２）波及効果と発展性など
本研究でその実現を目指す，細胞の機能や細胞に生じる変化を非破壊かつリアルタイムで捉える技術は，個々の分子を標的とした解析とは異なり，細胞や内部器官の全体像を把握するものとして今までにない斬新なものである．また，本研究の手法は創薬スクリーニングのみならず，食品の安全性や環境毒性評価への応用も期待できる．本研究の成果は，細胞レベル，分子レベルでの迅速，簡便，安価な解析手法開発に間違いなく貢献すると考える．

［４］ 成果資料
（１）Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yuki Aonuma, Yuya Yoshimura, Yasuo Shinohara, Yasuo Kimura and Michio Niwano, “Real-time monitoring of mitochondrial adenosine 5’-triphosphate synthesis and hydrolysis by surface infrared spectroscopy”, Appl. Phys. Lett., 98, 133703 (2011).

（２） Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Tomohiro Nasu, Tasuku Taira, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication”, Supramolecular Chemistry, 22, 405-411 (2010).

（3）Ayumi Hirano-Iwata, Kouji Aoto, Azusa Oshima, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Free-Standing Lipid Bilayers in Silicon Chips—Membrane Stabilization Based on Microfabricated Apertures with a Nanometer-Scale Smoothness”, Langmuir, 26, 1949–1952 (2010).

（4）Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Kota Onodera, Kouji Aoto, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Self-formation of bilayer lipid membranes on agarose-coated silicon surfaces studied by simultaneous electrophysiological and surface infrared spectroscopic measurements“, Appl. Phys. Lett., 94, 243906-1-3 (2009).

（5）Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Ko-ichiro Miyamoto, Hiroko Isoda and Hitoshi Miyazaki, “*In situ* real-time monitoring of apoptosis on leukemia cells by surface infrared spectroscopy”, J. Appl. Phys., 105, 024701-1-7 (2009).

（6）Ayumi Hirano-Iwata, Ryo-taro Yamaguchi, Ko-ichiro Miyamoto, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “In situ real-time monitoring of biomolecular interactions by using surface infrared spectroscopy”, J. Appl. Phys., 105, 102039-1-11 (2009).

（7）Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, and Masao Sugawara, “The Design of Molecular Sensing Interfaces with Lipid Bilayer Assemblies”, Trends in Anal. Chem., 27, 512-520 (2008).

課題番号　Ｈ２０／Ａ１３

採択回数	１　２　③

傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究

［１］組織
代表者：中居　倫夫
（宮城県産業技術総合センター）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
荒井　賢一（東北大学名誉教授）
脇若　弘之（信州大学工学部）
松尾　哲司（京都大学工学研究科）
栃　修一郎（東北大学電気通信研究所）
薮上　　信（東北学院大学工学部）
竹澤　昌晃（九州工業大学工学研究科）
菊池　弘昭（岩手大学金属材料保全工学研究センター）
高田　健一（宮城県産業技術総合ｾﾝﾀｰ）

研究費：物件費 22 万円，旅費 14 万 2 千円

［２］研究経過

本プロジェクト研究では，小型高機能かつ省電力な磁気デバイスの創製を目的に，微小な薄膜素子の磁区転移を用いた素子を提案し検討している。本研究の基礎となる磁区転移素子は，微細加工された短冊状の薄膜磁性体素子に，素子の長軸方向に対し面内に傾斜したストライプ磁区構造を形成することで得られ，外部磁界の変化に伴う磁区構造のトポロジカルな転移（ストライプ磁区と単磁区の相転移）が発生する特徴を有した素子である。これまで，本プロジェクト研究の活動として，この磁区転移現象を磁気センサ，高周波インダクタ，あるいは，磁気光学デバイス等へ応用することを提案するとともに，現象の発生原理解明を行ってきた。今年度は，さらなる原理解明に踏み込むことを目的に，材料パラメータによる特性変化を実験検討するとともに，磁区シミュレーションを用いた検討も行った。

平成22年度の研究活動として実施した検討課題と会合の開催状況を以下に示す。

検討課題：現象の原理解明を目的に，材料組成による磁区転移特性の変化を，実験と磁区シミュレーションを併用して検討した。

第１回会合　2010年8月25日
テーマ1：材料組成と異方性方向の制御に伴う特性変化の実験結果報告
テーマ2：薄膜デバイスの実装技術に関する検討結果報告
テーマ3：磁区シミュレーションを用いた磁区転移の原理検討

第２回会合　2010年12月11日
テーマ：磁区転移検出手法の非破壊検査応用に関するディスカッション

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，材料組成が磁区転移特性に及ぼす影響の実験的検討を行い，以下の研究成果を得た。

ストライプ状磁区構造と長手方向に磁気モーメントが向いた単磁区構造の間で発生する磁区転移と，そのヒステリシス特性について素子の材料組成をパラメータとした実験を行った。実験は，CoNbZrの三元系アモルファス薄膜において，組成比を変化させることで行った。今回の実験で使用した材料組成比と磁気特性は，以下の通りである。

（イ）　$Co_{82.5}Nb_{13}Zr_{4.5}$：M_S=0.87 T，H_k=4.7 Oe，飽和磁歪おおよそゼロ（磁歪は文献値）

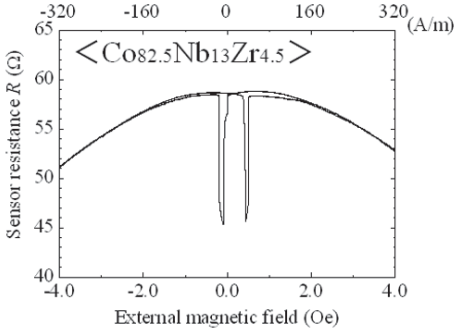
（ロ）　$Co_{84.5}Nb_{7.5}Zr_8$：飽和磁歪おおよそ$+1\times10^{-6}$（磁歪は文献値）

本プロジェクト研究において従来行われてきた検討では，$Co_{85}Nb_{12}Zr_3$の材料組成であり，この組成の磁性薄膜は，M_S=0.98 T，H_k=5.7 Oe，飽和磁歪は，おおよそゼロという磁気特性を有する。なお，磁性膜はAr雰囲気中のRFスパッタで作製され，磁気異方性は，真空磁界中熱処理で誘導した。熱処理条件として673 K－240 kA/mの回転磁界中熱処理を2時間，673 K－240 kA/mの静磁界中熱処理を1時間とした。静磁界中熱処理における磁界印加方向は，素子幅方向を基準として角度設定した。素子の電極は，高周波プローブで測定可能な形状とし，RFスパッタしたCu薄膜をリフトオフ法でパターニングして作製した。

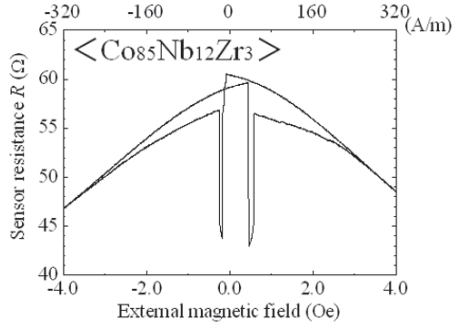
図1の特性は，上記（イ）の材料組成比における磁性膜2.0 μmを矩形状の素子に成形した際に得られたインピーダンス特性である。この素子を作製する際の条件は，磁場中熱処理時の磁場方向；素子幅方向か

ら60° （装置の指示値），素子磁性体の長さと幅；各々，3000 μm，20 μmとした。素子のインピーダンスは，外部磁界を素子長手方向に変化させながら，周波数500 MHzで測定した。図1には，比較のために，従来組成比で同じ寸法形状，熱処理条件で作成された素子の特性も示す。本図から，不連続点で挟まれたインピーダンスが一段低い領域が左右に分離するという特徴的なインピーダンス特性は，異なる組成比（磁気特性としては，異なるM_SとH_k）の素子でも同じように発生し得ることが明らかになった。

図2は，図1と同じ測定を行った際に，インピーダンスが不連続的に減少した点から，外部磁界の掃引方向を反転して測定したヒステリシス特性である。本図の特性は，本研究の不連続素子に特徴的な特性として従来組成の素子で報告されているが，（イ）の組成比でも同様な特性が得られることが分かった。



(a) $Co_{82.5}Nb_{13}Zr_{4.5}$



(b) $Co_{85}Nb_{12}Zr_3$

図1. 素子インピーダンスのヒステリシス

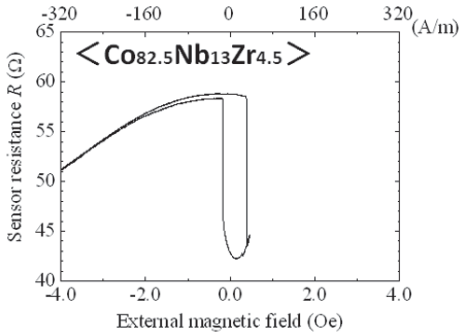


図2. 図1(a)のインピーダンス測定で磁界の掃引転換点を変化させた場合の特性

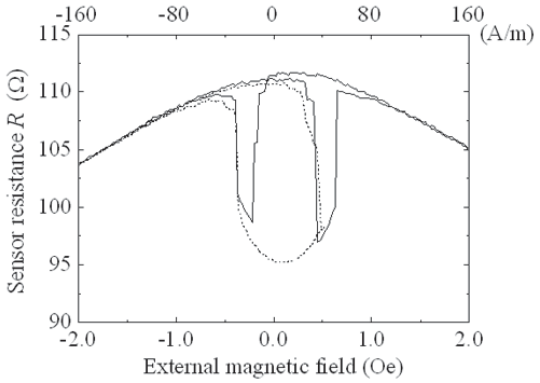


図3. $Co_{84.5}Nb_{7.5}Zr_8$の素子におけるインピーダンスのヒステリシス特性

図3は，（ロ）の材料組成比の磁性膜で作成した素子のインピーダンス特性である。素子を作製する際の熱処理条件は，図1の条件と同じ磁場方向；素子幅方向から60° （装置の指示値）であるが，素子磁性体の長さ，幅，そして膜厚は各々，3000 μm，40 μm，1.05 μmである。本図から，磁歪を有すると報告されている組成比の磁性膜を用いた場合でも，図1，図2と同様なインピーダンス変化特性を発生させ得ることが明らかになった。今回の検討では，正確な磁歪定数の実測は行っていないため，今後，詳細な検討を行うべき課題として引き継ぐものである。さらに，磁歪を有する組成においては，異なる素子幅と膜厚で現象が発生するメカニズムの解明も課題である。

単純化磁区構造モデルによる磁区転移の原理解明については，本共同プロジェクト研究のディスカッションに基づき，本モデルを提唱している京都大学の松尾哲司 准教授が解析検討を行い，素子内部の反磁場不均一性が磁区転移の発生メカニズムに重要な影響を与えていることを示唆する結果を考察して，結果を国際学会に発表した（Journal of Applied Physics **109**, 07D332 (2011)）。

（3－2）波及効果と発展性

本プロジェクト研究は，今期が最終年度であり，今後は，これまでに得られた検討結果を基にして，様々な応用研究が実施されることを期待します。

文部科学省 科研費の受け入れ機関となっていない，宮城県産業技術総合センターの研究員に本研究のような基礎的検討を実施する機会を提供して頂いた，東北大学電気通信研究所の共同プロジェクト研究に感謝するとともに，対応教官として受け入れて頂いた石山和志 教授，有意義なディスカッションをして頂いた研究メンバーの皆様に謝意を示し，本研究の締めくくりとさせて頂きます。

採択番号　Ｈ２０／Ａ１４

採択回数	１	２	３

高度映像コンテンツ検索技術に関する研究

［１］組織

代表者：青木　輝勝(東北大学未来科学技術共同研究センター)
対応者：青木　輝勝(東北大学未来科学技術共同研究センター)
分担者：
伊藤　学（㈱デジコンキューブ）
丹野　義和（㈱デジコンキューブ）

研究費：旅費１１万３千円

［２］研究経過

本共同研究では，教育・ビジネスを問わず誰もが簡単に映像アーカイブも用いて映像制作を経験できる「ネットワーク協調制作環境」の実現を大目標に，映像アーカイブ技術について研究開発することを目標とする.このため，昨年度に引き続き映像プロダクションである（株）デジコンキューブと共同研究を行い，技術集団と実務（制作者）集団とのコラボレーションにより，実用的な映像アーカイブ技術を研究開発する.

このための研究打ち合わせを年５回開催した.
以下，研究活動状況の概要を記す.

第１回研究打ち合わせ（6月１日～6月２日）
　本年度研究計画の詳細
第２回研究打ち合わせ（7月７日～7月８日）
　実証実験内容の検討(1)
第３回研究打ち合わせ（9月９日～9月10日）
　実証実験内容の検討(2)
第４回研究打ち合わせ（1月18日～1月19日）
　実証実験結果の考察
第５回研究打ち合わせ（3月７日～3月９日）
　今後の課題についての検討

［３］成果

（３－１）研究成果

(1)研究経緯

近年，データの圧縮技術やネットワーク関連技術，記憶媒体の発展を背景に，映像コンテンツが一般的に広く利用されてきている．しかし，ユーザが映像コンテンツの取得，蓄積を容易に行うことができる一方，映像データが大量になることで，ユーザが閲覧したいコンテンツにたどり着くことが困難になっている．そのため，映像コンテンツに対してメタデータによる検索を行うために,自動的にメタデータを付与する研究が盛んに行われている.

昨年度は，ショット検出の精度向上に加え，最終目標である映像メタデータの自動付与への次のステップとして，Web 上静止画像と映像ショットとのマッチングに，SIFT 特徴量を改良したアルゴリズムを用いた手法を開発し提案した。

本年度は、昨年度の成果をさらに発展させ、その高精度化を図った。

(2)研究概要

近年，データの圧縮技術やネットワーク関連技術，情報ストレージ技術の進展を背景に，映像コンテンツが一般的に広く利用されてきている．しかし，ユーザが映像コンテンツの取得，蓄積を容易に行うことができる一方，映像データが大量になることで，ユーザが閲覧したいコンテンツにたどり着くことが困難になっている.

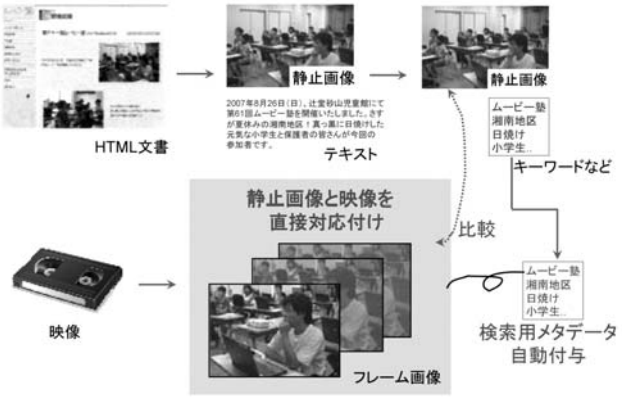


図 1 システム概念図

膨大な映像コンテンツの中から希望のコンテンツを高速検索するには，映像コンテンツへのメタデータ付与が必要であるが，メタデータ付映像コンテンツはごく一部に限られている．一方，Web 上のほとんどの静止画像には，検索エンジンにて自動的にメタデータが付与されている．従って，映像コンテンツと Web 上の静止画像との対応付けができれば映像コンテンツへのメタデータ自動付与が可能となる（図 1）．これを実現するため，連続して撮影された映像ショットと静止画像間の対応付けについて検討する．

⑶関連研究

Web 上静止画像に付与されているメタデータは，HTML 文書内のキーワードを元に付与される．文書内にはその静止画像における撮影対象に関連した記述がなされていると考えられる．したがって，静止画像と類似した部分領域をもつフレーム画像を含むショットとの対応付けを行うことができれば，ショットに対して撮影対象に関連したキーワードを付与できると考えられる．

映像内に含まれる特定のオブジェクト領域の有無を検出する技術として，画像内の特徴点についての画像特徴量の一種である SIFT 特徴量[1]を用いた看板検出を行ったものがある[2]．この研究では，検出したいオブジェクトのみが存在する画像に含まれる SIFT 特徴量が，検出対象となる映像のフレーム画像に含まれているかを判定することで看板検出を行っている．SIFT 特徴量は局所特徴量であり，特徴量が画像間で一致することは，両画像において局所領域の一致があったことを意味する．一方の画像は看板のみが含まれる画像であるため，特徴量が一致する特徴点が多ければ多いほど，フレーム画像内に看板に類似した領域が多いといえる．

⑷提案方式概要

本システムにおいては，Web 上静止画像，映像ショットとのマッチングを行うため，映像ショットに含まれる複数のフレーム画像全体から抽出できる全 SIFT 特徴量を使用するのではなく，ある程度絞り込みを行った上で静止画像との対応付けを行う．
フレーム画像内において，撮影対象となっている領域以外から抽出した SIFT 特徴量は，Web 上静止画像とのマッチングにおいてノイズとなる．オプティカルフローの利用等によって SIFT 特徴量を抽出する領域を指定すれば，意味的に代表的な特徴点として絞り込むことができる．

ところで，SIFT 特徴量は，画像が小さいほど極小領域の SIFT 特徴量が抽出できなくなるが，少ない演算量で抽出することができる．映像ショットの撮影者は，興味がある部分に注目して撮影すると考えられ，フレーム内において大きい領域であると考えられる．したがって，画像の縮小を行っても，撮影者の興味がある領域からの SIFT 特徴量は抽出できると考えられる．そこで，フレーム画像を縮小することによって，空間的に代表的な特徴点として絞り込む．

また，撮影対象となっているオブジェクトは，オブジェクトの動きやカメラの動きなどがあってもフレームアウトしないように意図して撮影されると考えられる．一方で，撮影者にとって興味の薄い背景領域やオブジェクトは，フレームアウトが生じることがある．このことから，ショット内において短時間ではなく，長時間にわたって連続して撮影された領域は，撮影対象オブジェクトである可能性が高いと考えられる．ショット内の連続した時刻の 2 つのフレーム画像において，対応付けが可能な局所領域は，フレームアウトしていないと考えることができる．したがって，ショット内の各フレーム画像から抽出できる SIFT 特徴量のうち，フレーム画像間での対応付けが連続して続くものについては，撮影対象オブジェクト領域に含まれる SIFT 特徴量である割合が高いと考えられる．そこで，フレーム画像間で連続して対応付けが可能な特徴点だけを選別することにより，時間的に代表的な特徴点として絞りこむ．類似度の指標としては，特徴点が対応付けられた率を使用し，対応点率＝対応点数 / min(対象特徴点数，静止画像中特徴点数)で定義する．

⑸実証実験結果と考察

飲料缶を撮影対象として手持ちでの水平移動を含む映像を DV によって撮影し 640[pixel] × 480[pixel]とした AVI 画像と，同一のオブジェクトを含み背景が異なる静止画像を用意し，領域の指定，連続出現特徴点による絞り込みをそれぞれ行った場合と，これらを連続して行った場合について，映像ショットから 10 フレーム間隔でサンプリングしたフレーム画像を用いて実験した．領域指定については今回手動で行った． 連続出現する特徴点は，可変な W フレームにおいて連続出現する場合について実験した．

連続出現する特徴点を抽出したときの対応点率を図 2 に示す．連続出現する特徴点による絞り込みにより，特徴点数は減少し，対応点率が向上したことから，適切な領域の特徴点を抽出できたと考えられ

る．図 3 に画像縮小(25%)，領域指定，連続出現（W=30）による絞り込みと，それらを全て行った時の対応点率を示す．無処理の場合と比較して，高い対応点率をとることから，ショットと類似する静止画像を効率良く判定できたものと考えられる．

また、図 4 に演算時間の評価結果を示す。画像縮小，領域指定，連続出による絞り込み効果により、演算時間が大幅に低減していることがわかる。具体的には全フレーム使用時と比較して提案手法により演算時間をおおよそ 1.8%に低減できていることがわかる。

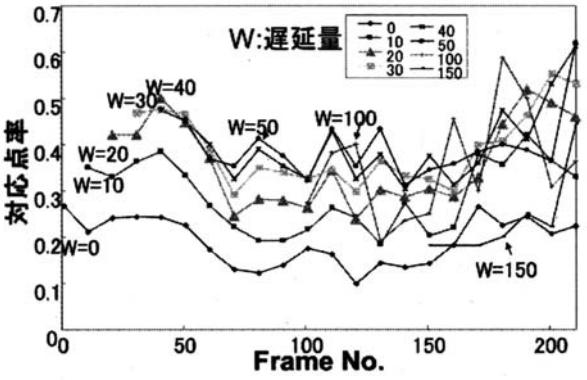


図 2 連続出現特徴点使用時の対応点率

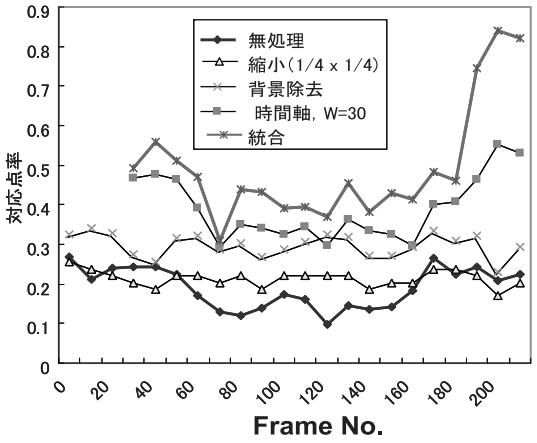


図 3 絞り込みによる対応点率

手法	特徴量数
全フレーム使用	2.92×10^4
1 フレーム使用（平均）	1.32×10^2
提案手法	5.37×10^2

図 4 演算時間の評価

（3－2）波及効果と発展性など

本共同研究では、映像メタデータの自動付与手法として，Web 上静止画像と映像ショットとのマッチングに，SIFT 特徴量を改良したアルゴリズムを用いた手法を開発し提案した。本年度は特に昨年度の試作した実験システム上において、様々な提案と評価実験を繰り返すことにより、その高精度化を図った。

具体的には、まず第一にショット内のフレーム画像を縮小すると，抽出できる SIFT 特徴点数が減少するが，本稿では類似度判定に影響を及ぼさないことを示した．

第二に、領域指定は、雑音除去の効果に加え、演算時間削減の効果も期待できることを実験を通じて実証した。

そして、第三に、連続出現する特徴点の絞り込み後に対応点をとることにより、領域指定と同様に、雑音除去の効果に加え、演算時間削減の効果も期待できることを実験を通じて実証した。

昨年度の研究成果に続き，本年度の研究成果は，大目標である映像メタデータの自動付与の実現に向け大きく寄与したといえる.近年のデジタルコンテンツの大流通時代では，その検索のためのメタデータ付与は, 放送局のみならず CGM が急増する現在，プロシューマ化した一般においても重要な技術であることは言うまでもない.今後は，この共同研究開発を大目標の達成のためさらに推し進め，実務者であるデジコンキューブの評価実験を加えることで，実用に耐えうる技術に仕上げる予定である．

［4］成果資料

（1）松本大輔、青木輝勝，“オプティカルフローを用いた有害コンテンツ検出の一検討”，映像情報メディア学会 2010 年度年次大会 3-10(映像情報メディア学会 2010 年度年次大会優秀発表賞)

（2）後藤慎一、青木輝勝、“奥行き情報を用いた SIFT 特徴量の高ロバスト化に関する一検討”,情報処理学会オーディオビジュアル複合情報処理（AVM）研究会、July, 2011.(発表予定)

（3）Terumasa AOKI and Daisuke MATSUMOTO, “ Objectionable Content Detection based on Frequency Analysis”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence (submitted)

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ａ０１

採択回数	１　②　３

環境負荷低減に資する超伝導計算機技術に関する研究

［１］組織

代表者：水柿　義直
（電気通信大学電気通信学部）
対応者：佐藤　茂雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中島　康治　（東北大学電気通信研究所）
小野美　武　（東北大学電気通信研究所）
海老澤丕道　（東北大学大学院工学研究科）
林　正彦　（秋田大学教育文化学部）
小山　富男　（東北大学金属材料研究所）
羽多野　毅　（物質・材料研究機構
ナノシステム機能センター）
王　華兵　（物質・材料研究機構
ナノシステム機能センター）
東海林　彰　（産業総合研究所
エレクトロニクス研究部門）
前澤　正明　（産業総合研究所
エレクトロニクス研究部門）
猪股　邦宏　（理化学研究所
フロンティア研究システム）
明連　広昭　（埼玉大学工学部）
町田　昌彦　（原子力研究開発機構
システム計算科学センター）
吉川　信行　（横浜国立大学工学研究院）
藤巻　朗　（名古屋大学大学院工学研究科）
北野　晴久　（青山学院大学理工学部）
金城　光永　（琉球大学工学部）
太田 幸宏　（原子力研究開発機構
システム計算科学センター）

研究費：物件費 26 万 3 千円，旅費 51 万 4 千円

［２］研究経過

超伝導現象は巨視的な量子現象であり，これを利用した電子デバイスは超低消費電力，超高速動作，超高感度など，現在の半導体デバイスを遥かに凌ぐ特性を有している．また量子ダイナミクスそのものを利用する，驚愕的な計算能力を有する量子計算機への応用も強く期待されている．Si-LSI の限界が現実的になりつつある現在，こうした超伝導デバイスの優位性がより顕著になってきている．特に環境負荷低減の観点から，他のデバイスでは代え難い超低消費電力性（デバイス冷却にかかる電力を含めて）がより注目を集めている．こうした事実を踏まえ，超伝導計算機の実用化が次世代情報処理システム構築のための最重要課題となると予想される．

以上の背景のもと，本提案課題では実用化を強く意識し，そのために必要な超伝導計算機技術を，周辺技術も含めて確立することを目的とする．具体的な研究計画は次の通りである．①単一磁束量子を情報担体とする超高速・超低消費電力超伝導計算機では，製作プロセスの改良による高集積化と，セルライブラリの蓄積を含む回路・システム設計技術の成熟化を図り，CPU 実装テスト等を通じて実用計算機技術として確立する．本所では主に回路設計と測定技術に関する課題を遂行する．②酸化物超伝導体固有ジョセフソン接合を用いたマルチ量子ビット実現に向けて，実験解析及び理論構築による量子ダイナミクスの解明を図る．最近の実験結果からジョセフソン接合の接合間結合が実現のための鍵となることが予想されており，これが中心的課題となる．本所では主にデバイスの特性測定に関する課題を遂行した．

第二年度にあたる本年度は，2 月 17 日，18 日に研究会を開催した．以下に研究会のプログラムを示す．

1)「グリーン IT 時代の新しいクライオエレクトロニクス」藤巻　朗（名大）
2)「超伝導マイクロ波共振器を用いた磁束量子ビットの非破壊読み出し」猪股　邦宏（理研）
3)「単層及び多層グラフェンにおけるクーパー対と近接効果」林　正彦（秋田大）
4)「マルチギャップ超伝導ジョセフソン接合の理論」町田　昌彦（JAEA）
5)「マルチギャップ超伝導における巨視的量子トンネル」太田　幸宏（JAEA）
6)「Bi 系固有ジョセフソン接合における接合形状とスイッチング特性」北野　晴久（青学大）
7)「ジョセフソン接合スイッチング電流分布のバイアス方法依存性」佐藤　茂雄（東北大）

8)「固有ジョセフソン接合からのTHz波発振シミュレーション」小山　富男（東北大）
9)「集積型低温電流比較器」前澤　正明（産総研）
10)「単一磁束量子論理を用いた広ダイナミックレンジデジタルSQUIDの低電流動作」明連　広昭（埼玉大）
11)「散逸を含む系での単一量子トンネリングと間欠振動現象に関する数値計算」水柿　義直（電通大）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度はまず第1に，すでに低消費電力動作が実証されている単一磁束量子(SFQ)回路について，その省電力性を更に向上させる手法として，バイアス抵抗での消費電力を低減する低電圧駆動法の提案とその実証が行われた．従来の電源電圧 2.5mV を 0.5mV あるいは 0.1mV に低下させたシフトレジスタ回路を設計し，Nb 集積回路を用いてその動作を検証したところ，20GHz クロック動作までであれば，動作マージンは従来型と比較して差が無いことが確認された．さらに，動作電流を 1/2 あるいは 1/4 まで低減した回路の動作も確認され，トータルで消費電力を 1/100 にすることができた．これらの結果は，SFQ 回路の更なる低消費電力化が可能であることを示すものである．

第2に，Nb 集積回路によって構成された，予め特性の分っているジョセフソン接合列を用いてスイッチング電流分布を測定することにより，スイッチング電流分布から接合間結合を求めるための実験手法の確立を図った．静電結合のある接合列と結合のない接合列とでは大きく異なるスイッチング電流分布が得られること，結合なしであっても単接合の理論では説明できないことを実験により明らかにした．また電流分布のばらつきの温度依存性に関するデータから，従来理論に比べ，量子領域と古典領域のクロスオーバー領域が広がっていることを確認した．今後はスイッチング電流分布のバイアス依存性を把握した上で，力学モデルの検証を行うことが課題である．

第3に、ジョセフソン素子の非線形特性を利用した間欠振動素子が提案と、その動作に関する数値シミュレーション結果が示された．超伝導量子干渉素子はジョセフソン素子を含む超伝導ループで構成され，ジョセフソン素子をゲートとして磁束量子がループに出入りする．この超伝導ループの一部を抵抗体おきかえると，抵抗体での散逸によりループ内の磁束が連続的に減少する．ジョセフソン素子を介した離散的な磁束変化と抵抗による連続的な変化を組み合わせることで，間欠振動動作が生じることが数値計算により示された．さらに，ジョセフソン素子と双対の関係にある単一電子素子においても，同様の間欠振動現象が発生することも見出された．このような間欠振動素子は情報処理回路等への応用が期待される．

（3－2）波及効果と発展性など

高速性と低消費電力性，さらに量子並列性をあわせ持つ超伝導素子を用いた計算機の実現により，次世代スーパーコンピュータの実用化が期待される．本研究ではまだ基礎的な部分があるものの，金属超伝導体の SFQ マイクロプロセッサの実用化，酸化物超伝導体の量子ビットの実現，それぞれにおいて重要な寄与を与えるものである．本プロジェクトを継続・発展させることにより，超伝導計算機のより早い実用化が期待される．

［4］成果資料

(1) Y. Mizugaki, A. Kawai, R. Kashiwa, M. Moriya, and T. Kobayashi, "Analytical Inductance Calculation of Superconducting Stripline by Use of Transformation into Perfect Conductor Model," IEICE Trans. Electron., vol.E93-C, no.4, pp.486-488, April, 2010.
(2) Y. Mizugaki, "Numerical demonstration of relaxation oscillation in a resistive superconducting quantum interference device with two nonhysteretic Josephson junctions," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.20, no.5, pp.2322-2326, October, 2010.
(3) K. Kuroiwa, M. Moriya, T. Kobayashi, and Y. Mizugaki,"Evaluation of two methods for suppressing ground current in superconducting integrated circuits," IEICE Transactions on Electronics, vol.E94-C, no.3, pp.296-300, March, 2011.
(4) H. B. Wang, S. Guénon, B. Gross, J. Yuan, Z. G. Jiang, Y. Y. Zhong, M. Grünzweig, A. Iishi, P. H. Wu, T. Hatano, D. Koelle, and R. Kleiner, “Coherent Terahertz Emission of Intrinsic Josephson Junction Stacks in the Hot Spot Regime”, Phys. Rev. Lett. 105, 057002 (2010).
(5) S. Guenon, M. Grunzweig, B. Gross, J. Yuan, Z. G. Jiang, Y. Y. Zhong, M.Y Li., A. Iishi, P.H Wu., T. Hatano, R. G. Mints, E. Goldobin, D. Koelle, H. B. Wang and R. Kleiner, “Interaction of hot spots and terahertz waves in Bi2Sr2CaCu2O8 intrinsic Josephson junction stacks of various geometry”, Phys. Rev. B, 82, 214506 (2010).
(6) Yuri Koval, Xiaoyue Jin, Christoph Bergmann, Yilmaz Simsek, Lütfi Özyüzer, Paul Müller,

Huabing Wang, Günter Behr, and Bernd Büchner, “Tuning superconductivity by carrier injection”, Appl. Phys. Lett. 96, 082507 (2010).
(7) G. P. Pepe, L. Parlato, V. Pagliarulo, N. Marrocco, C. De Lisio, G. Peluso, A. Barone, T. Taino, H. Myoren, A. Casaburi, M. Ejrnaes and R. Cristiano, Photoresponse experiments on NbN proximized nanostructures, J. Phys.: Conf. Ser. vol.234, 042027 (2010).
(8) N. Marrocco, G. P. Pepe, A. Capretti, L. Parlato, V. Pagliarulo, G. Peluso, A. Barone, R. Cristiano, M. Ejrnaes, A. Casaburi, N. Kashiwazaki, T. Taino, H. Myoren, and Roman Sobolewski, Strong critical current density enhancement in NiCu/NbN superconducting nanostripes for optical detection, Appl. Phys. Lett., vol. 97, 092504 (2010).
(9) K. Fujiwara, Q. Liu, T. Van Duzer, X. Meng, N. Yoshikawa, “New delay-time measurements on a 64 kb Josephson-CMOS hybrid memory with 600 ps access time,” IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol. 20, pp. 14 - 20, 2010.
(10) Y. Yamanashi, T. Kainuma, N. Yoshikawa, I. Kataeva, H. Akaike, A. Fujimaki, M. Tanaka, N. Takagi, S. Nagasawa, M. Hidaka, “100 GHz Demonstrations Based on the Single-Flux-Quantum Cell Library for the 10 kA/cm2 Nb Multi-Layer Process,” IEICE Trans. Electron., vol. E93-C, pp.440-444, 2010.
(11) N. Takeuchi, Y. Yamanashi and N. Yoshikawa, “Design and Implementation of RSFQ Microwave Choppers for the Superconducting Quantum-Computing System,” IEICE Trans. Electron., vol. E93-C, pp. 458-462, 2010.
(12) H. Kitano, K. Ota, K. Ishikawa, M. Itoi, Y. Imai, A. Maeda, Physica C, vol. 470, S838 (2010).

採択番号　Ｈ２１／Ａ０２

採択回数	1	②	3

金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究

［１］組織

代表者：玉田　薫（東北大学電気通信研究所）

分担者：Andrew T.S. Wee（シンガポール大学）
Chen Wei（シンガポール大学）
Xie Xianning（シンガポール大学）
Eunyoung Kim（東北大学電気通信研究所／延世大学）
及川英俊（東北大学多元物質科学研究所）
増原　陽人（山形大学工学部）
小野寺　恒信（東北大学多元物質科学研究所）
立間　徹（東京大学生産技術研究所）
坂井　伸行（東京大学生産技術研究所）
松原　一喜（東京大学生産技術研究所）
岡本　晃一（京都大学大学院工学研究科／JST さきがけ）
増尾　貞弘（関西学院大学 理工学部）
田丸　博晴（東京大学大学院工学系）
牛島　洋史（産業技術総合研究所光技術部門）
福田　伸子（産業技術総合研究所光技術部門）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
片野　諭（東北大学電気通信研究所）
庭野　道夫（東北大学電気通信研究所）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 23 万１千円，旅費 41 万５千円

［２］研究経過

本プロジェクトでは、昨年に引き続き、高度に組織化された異なる空間的次元（１次元／２次元／３次元）を有する金属ナノ構造体の作製、基礎物性評価、およびデバイス応用に関する研究を進めた。金属ナノ材料表面に局在するプラズモンは、その集合構造により複雑な電磁場相互作用を励起し、これまでにない新奇な材料特性を生む可能性を秘めている。ボトムアップ型ナノテクノロジーにより合成された数 nm の形状・粒径の揃った金属ナノ材料を距離および位置制御しながら自在に空間配置し、そこから現れる新たな物性を引き出す研究は今なお極めてチャレンジングな課題である。この共同プロジェクト研究では、異分野研究者の英知を集結し、問題解決にあたる。

本年度は、昨年度実績をもとに、継続すべきテーマの残ったチームのみ残し、新しいメンバー、特にシンガポール大学との国際共同研究の要素を加えて、以下の新体制で研究を実施した。研究内容では、FDTD 理論計算、蛍光増強に力を入れるとともに、ナノギャップデバイスとプラズモンとの融合領域に注力した。特に新しいコンセプト「光変調型プラズモンナノアンテナ」の構想をまとめるべく研究を進めた。

個々のチーム間での共同研究実施に加えて、以下の日程で、研究討論会を実施した。

第１回　研究討論会
期日：平成 23 年２月１日（月）13：00ー
場所：東北大学電気通信研究所１号館 N309 号室
参加者：立間、岡本、岡本、福田、木村、玉田

［３］成果

（３−１）研究成果

【基礎光学物性／ナノフォトニクス】

金属ナノ微粒子２D／３D集合体における「協調的」電磁場振動挙動の特徴をFDTD計算をもとに検討した。昨年度の検討において、２D シートにおける微粒子間の相互作用距離が微粒子対に比べてはるかに長距離であること、励起される電磁場強度が微粒子対に比べてさらに増強されることが明らかになったが、本年度はこの協調的効果が出現する境界条件についてさらに検討を進めた。その結果、粒子径 5nm 粒子

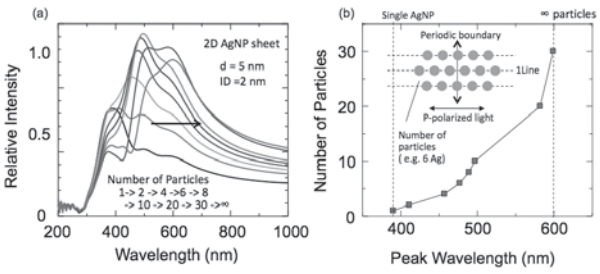


図１　LSPR absorption spectra (a) and peak positions (b) of AgNP 2D sheets calculated by FDTD method by changing the number of particles per line under the condition of periodic boundary, n = 2, 4, 6, 8, 10 and ∞. The size of the particle is 5 nm and the gap distance is 2 nm.

間距離2nmの場合、会合粒子数１列30個（ドメインサイズ１辺 200nm）において、無限大シートと同等のプラズモン特性に至ることがわかった（図１）。この内容を含めて論文発表した（論文[1]）。また昨年度より検討中の銀微粒子二次元シートからのSTM発光についても論文発表した（論文[2]）。

また微粒子シート基板上での有機色素ならびに半導体微粒子の蛍光発光計測により、発光体とプラズモン場との相互作用について検討した。これまで観察に成功したのは脂質展開膜の場合だけで（図２）（論文[3]）、その場合も増強度はわずか数倍程度であった。これについて、強いプラズモン電場による有機色素の分解（光退色, Photobleachinh）が原因と考えていたが、半導体微粒子を用いた実験においてむしろ発光強度が低かったことから、金属へのエネルギー移動（Forster 型）による蛍光消光がその原因であり、ナノレベルでの界面構造制御なくしてプラズモン場による蛍光増強効果を実験的にとらえるのは難しいという事実を改めて確認した。

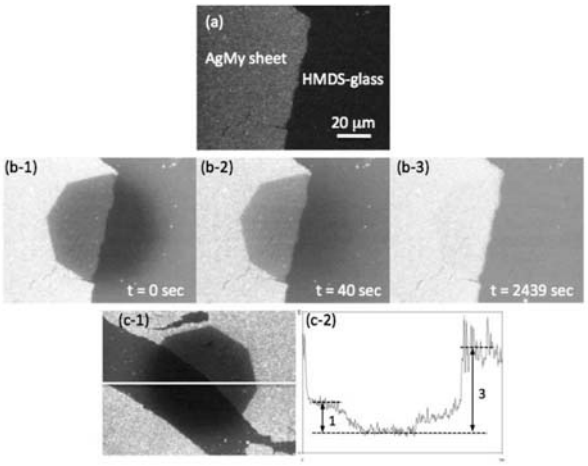


図２　Field enhanced fluorescence images of DOPC monolayers with NBD-DOPE dye (0.5 wt%) spread on half-covered Ag nanosheet on HMDS modified glass substrate by a vesicle fusion technique (a). The (b-1) to (b-3) are time-course images after photobleaching to confirms the formation of continuous DOPC monolayer crossing the boundary. The (c-1) was taken after the saturated bleaching. By taking the darkest part in the image (the bleached part on HMDS modified glass substrate) as zero intensity, the intensity of photoemission on AgMy sheet and HMDS-modified glass are compared as shown in (c-2).

この結果をもとに、プラズモン増強蛍光法に適した新しい合金型微粒子合成について検討する指針を立てた。

【光電子物性/ナノエレクトロニクス】

酸化チタンナノチューブに続き、白金担持酸化チタン薄膜の非接触酸化光触媒作用について、銀ナノ微粒子シートをマーカーとして評価・検討した。その結果、基板垂直方向においても連鎖反応的（＊）非接触酸化反応が進行することを表面プラズモン共鳴分光測定により確認した。

シンガポール国立大学では、2009年金微粒子塗布膜（３Dランダムネットワーク構造）にプラズモン共鳴吸収域の光照射を行った場合、MIM整流特性が変化し、条件によっては光電流が発生することを実験的に確認した（Adv. Mater, 2009, 21, 3016）。プラズモンとナノエレクトロニクスとの融合は、H20年度金属ナノ構造体に関する研究（H18/B01）を提案して以来、我々の目標とするところであったが、一昨年度の調査研究では、金属微粒子の保護層（絶縁膜）の膜厚が1nmを超えるとMIMトンネル接合が得られない（単一粒子デバイス：東工大真島研報告）ということで、我々の銀微粒子（粒径5nm、粒子間距離2nm）の応用は難しいと半ばあきらめていたが、微粒子２D／３D集合体においてはその「協調的」効果によりこの問題が解決できる可能性があると考え、銀微粒子シートを同大学に提供し共同研究を行った。しかし、高電場印加状態で銀微粒子が不安定化することが原因で、意味のあるデータはとれなかった。今後は超高真空下で銀微粒子シートへ光を照射しながら表面分光測定を行うという方針に変え、さらなる検討を進める。

【表面プラズモン共鳴法によるバイオインターフェイスの構築（日本学術振興会アジア研究教育拠点事業）】

昨年度より開始した日本学術振興会アジア研究教育拠点事業日韓共同プロジェクト（＊）と合わせて、光反応性蛍光高分子薄膜への細胞パターニングについて、表面プラズモン法による検討を行った。光照射により蛍光高分子の表面物性がわずかに変化すると、細胞接着性蛋白質であるゼラチンや接着阻害蛋白質であるアルブミンの表面吸着状態がわずかに変化する。それに細胞が敏感に反応することで、光による表面細胞パターニングが可能になる。この内容について成果をまとめ、論文投稿した（論文[4]）。

*国際連携と若手育成を主眼とする事業で研究費は含まれていない。この国際事業を通して受け入れた韓国学生（Jungmok You）を通じて共同研究を実施。

（3−2）波及効果と発展性など

得られた共同研究の成果について学会発表・論文等で発表するとともに、外部研究資金獲得のための準備研究として活用した（＊＊）。

＊＊本年度は共同プロジェクト研究の成果をもとに研究提案し、最先端・次世代研究開発支援プログラム

（研究題目：プラズモニック結晶ナノアンテナ構造による革新的ナノバイオ計測）に採択された。

［4］成果資料

国際招待講演

[1] “Collective Plasomon Resonance in 2D Crystalline Film Composed of Metallic Nanoparticles”, Frontier 2010, フランスアルビ鉱山大学, 2010年12月7日

[2] “Collective Plasmon Resonance in 2D Crystalline Film Composed of Metallic Nanoparticles“, Japan-Taiwan Joint Workshop on Bioelectronics, 台湾成功大学, 2011年1月19日

論文

[1] Collective plasmon modes excited on a silver nanoparticle 2D crystalline sheet, Mana Toma, Koji Toma, Kanae Michioka, Yasuhiro Ikezoe, Daiki Obara, Koichi Okamoto and Kaoru Tamada, Phys. Chem. Chem. Phys. 2011, 12, 14749-14753.

[2] Nanoscale coupling of photons to vibrational excitation of Ag nanoparticle 2D array studied by scanning tunneling microscope light emission spectroscopy, Satoshi Katano, Koji Toma, Mana Toma, Kaoru Tamada and Yoichi Uehara, Phys. Chem. Chem. Phys., 12, 2010, 14749.

[3] Fabrication and application of plasmonic silver nanosheet, Kaoru Tamada*, Xinheng Li, Priastute Wulandari, Takeshi Nagahiro, Kanae Michioka, Mana Toma, Koji Toma, Daiki Obara, Takeshi Nakada, Tomohiro Hayashi, Yasuhiro Ikezoe, Masahiko Hara, Satoshi Katano, Yoichi Uehara, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Ryugo Tero, Koichi Okamoto, T*he Annual Reviews in Plasmonics*, Springer, 2010.

[4] Protein Adsorption on a Cell-Patternable Polymer Surface Monitored by Surface Plasmon Resonance, Jungmok You[1†], Akihito Yoshida[4†], June Seok Heo, Han-Soo Kim, Hyun Ok Kim, Kaoru Tamada, and Eunkyoung Kim, submitted to Biomacromolecules.

著書

[1] Gemini-SAMs, K. Tamada, Handbook of Biofunctional Surfaces (Edit. W. Knoll), Pan Stanford publishing, Singapore, 2011.

[2] 先端プラズモン計測と界面反応, 玉田薫, Current Review 04：新しい局面を迎えた界面の分子科学（化学同人）2011.

[3] プラズモンセンサーの現状, 玉田薫, 新材料・新素材シリーズ：フォトニックナノ構造の最近の進展（シーエムシー出版）2011.

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ａ０４

採択回数	1	(2)	3

超音波マイクロスペクトロスコピーおよび圧電共振・反共振法によるランガサイト系圧電単結晶の評価と高温用センサへの応用

［１］組織

代表者：櫛引　淳一
（東北大学大学院工学研究科）

対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
安達　正利（富山県立大学）

研究費：物件費 18 万 3 千円，旅費 22 万 7 千円

［２］研究経過

本代表研究者は，物質・材料表面の音響特性を非接触的・非破壊的に正確に定量計測できる直線集束ビーム（Line-Focus-Beam: LFB）超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー（Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS）技術」に関する基礎研究および応用開発研究を進めている．一方，共同研究者は，これまで，圧電結晶の評価を圧電共振・反共振周波数法で行ってきた．

本研究の目的は，物質の基本的材料定数（誘電率，圧電定数，弾性定数）を正確に計測するために，主に外部振動子からの縦波，横波超音波パルスを利用する UMS 技術（東北大学）と，各種方位の圧電振動子の共振・反共振周波数から求める方法（富山県立大学）の二つがあり、それらを用いて正確な物質の弾性・圧電・誘電特性およびそれらの温度係数を求めることである。. UMS 技術では，非常に精密に固体中の音速，擬似表面波速度が測定できるが，装置の性格上，室温近傍の限られる。一方，共振法では，厚みたて振動（k_{33}），厚みすべり振動（k_{15}）などの測定では，試料の寸法，浮遊容量や純粋なモードの励振の問題があり，音速を与える反共振周波数を正確に求めるのが困難ではある．しかし高温までの定数測定は比較的容易行える．

本プロジェクトでは，両者の優れた測定法を融合し，効率の良い新しい材料定数の計測方法を開発する事を目的として研究を行った．

本プロジェクトは，本年度が２年度であった。そこで，本年度は，ランガサイト系単結晶である $La_3Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O_{14}$ の弾性・圧電・誘電特性に関する研究を展開した。

ランガサイト系単結晶は水晶と同じ 3 方晶系 32_1 に属し，電気機械結合が水晶の 3-5 倍と大きく，温度安定性に優れ，機械的品質係数 Q_m が非常に大きいことで知られ，BAW や SAW 用基板として注目されてきた．最近ランガサイト系単結晶は常誘電体で，融点（1300-1500℃）まで相転移が無いことから高温用のセンサに最適であその重要性を増している。

以下，研究活動状況の概要を記す。

打合せ、実験及び討論：

(1) 平成 22 年 8 月 17 日～20 日：
教授　安達　正利（富山県立大学）

(2) 平成 23 年 2 月 27 日～3 月 2 日：
教授　安達　正利（富山県立大学）

研究発表

（１）Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi, “Preparation and Characterization of Lead Free Multi-layer Ceramic Actuators with Ni Inner Electrodes Prepared by Inkjet Printing”, Key Engineering Materials Vols. 421-422 (2010) pp. 26-29.

(2) Tatsunori Kakuda, Tomoaki Futakuchi, Tsutomu Obata, Yuichi Sakai, and Masatoshi Adachi, “Preparation of $CaBi_4Ti_4O_{15}$ Based Thick Films on Si Substrates by Screen Printing”, Key Engineering Materials Vols. 421-422 (2010) pp. 50-53.

(3) Junhua Lv. Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi “Effect of CuO Doping on $(Bi,Na)_{0.83}Ba_{0.17}TiO_3$ Piezoelectric Ceramics”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 49 (2010) 0.9MD06-1-3 (3 Pages).

(4) Yuichi Sakai, Tatsunori Kakuda, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi,

" Preparation of (Ba,Sr)TiO_3 Thick Films with Ni Electrodes by Screen Printing",
Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 49 (2010) 09Ma12-1-5 (5pages).

(5) Junhua Lv, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi "Oxalate Precursor Route for Preparing $(Bi,Na)_{0.83}Ba_{0.17}TiO_3$ Nanopowder and Ceramics", Physica Status Solidi

(6) Kang Yan, Kohei Matsumoto, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi,
"Microstructure and Piezoelectric Properties of $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO3$-$BaTiO_3$ Lead-Free Piezoelectric Ceramics Modified by B_2O_3-CuO"、J. Am. Ceram. Soc., 93 [11] 3823-3827（2010）.

(7)) Junhua Lv, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi, "Low-Temperature Sintering of $(Bi,Na)_{0.83}TiO_3$-0.2wt%CuO Piezoelectric Ceramic from Nanopowders",
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50 (2011) 01BJ18-1-4 (4pages)

(8) Bhan Bai, Yuging Wen, Fan Zhang, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi,
"Influence of Hydrothermal Conditions on Size of Template Particles for Textured Ceramics",
Jpn. J. Appl.Phys., Vol. 50, (2011) 01BE17-1-4 (4pages).

(9) 大橋　雄二、唐木　智明、呂　寿、荒川　元孝、安達　正利、櫛引　淳一「$La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}Al_{0.2}O_{14}$単結晶の音響関連物理定数と温度係数の測定」第31回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、2010年12月6-8日、明治大学

(10) 安達　正利、唐木　智明、大橋　雄二、荒川　元孝、櫛引　淳一「ランガサイト系圧電単結晶の現状とその動向」圧電材料・デバイスシンポジウム 2011、B-1、pp.11-14、2011 年 1 月 31 日-２月１日、東北大学工学部青葉記念会館

［3］成果

（3－1）研究成果

東北大学では，開発されたUMS技術や非線形誘電率顕微鏡を，富山県立大学では，圧電共振・反共振周波数法により，ランガサイト（$A_3BC_3D_2O_{14}$）系圧電単結晶の高温センサへの応用を目的に正確な材料定数の測定と，より高温までの定数の測定を行う．特に，$Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$は，他のランガサイト系化合物と違ってA，B，C，Dの各サイトに最適なイオン半径と価数を持った唯一の陽イオンが配置される秩序配列構造を有している．無秩序配列構造であれば，結晶中にランダムな歪の分布が誘起され，それが組成の不均一性や電気的・機械的特性に影響を与える．$La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}O_{14}$およびGaサイトの一部をAlで置換した$La_3Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O_{14}$（$La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}O_{14}$：Al）単結晶は，特に，圧電性に優れ高温センサへの応用が期待される．そのため本研究では高温度範囲でこれらの音響関連物理定数の精密値を超音波マイクロスペクトロスコピー技術および圧電共振・反共振周波数法により定める．

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，現在、$La_3Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O_{14}$単結晶から圧電・弾性・誘電特性の測定用試料を切り出し，加工し，測定を行った．UMS技術測定法からは，23℃におけるすべての弾性定数 c^E_{11}，c^E_{12}，c^E_{13}，c^E_{14}，c^E_{33}，c^E_{44}，c^E_{66}，圧電定数 e_{11}，e_{14}，誘電率 ε^T_{11}，ε^T_{33} や結晶内でのLSAW速度の分布等を既に測定した．共振・反共振法でも，弾性定数 s^E_{11}，s^E_{14}，s^E_{33} 等の値とそれらの温度特性を求めた．それらの結果を表１に示す．すべての誘電・弾性・圧電定数とその温度係数を求めるため，UMS 技術および共振・反共振法の電気的測定技術を駆使し，正確なLTGA単結晶の音響に関するすべての物理定数，結晶性の評価をすべく努力した。

図１および２に示すように高温燃焼センサとして応用するために，約 600℃までの厚み振動モードの共振・反共振周波数の温度依存性および変化率を測定した．さらに高温センサとして実用化するためには，今後、より高温（1000℃程度）での各定数を測定する。

表１　23℃でのLTGAの定数の比較

弾性定数 10^{11}[N/m^2]	23℃定数	1 次温度係数	2 次温度係数
c^E_{11}	1.887	-6.858×10^{-5}	-9.829×10^{-6}
c^E_{12}	1.076	-1.310×10^{-4}	-1.710×10^{-5}
c^E_{13}	0.998	-7.382×10^{-5}	-6.716×10^{-6}
c^E_{14}	0.136	-3.825×10^{-4}	7.308×10^{-7}
c^E_{33}	2.607	-1.105×10^{-4}	-8.320×10^{-7}
c^E_{44}	0.513	-9.286×10^{-7}	-7.907×10^{-8}
c^E_{66}	0.405	1.433×10^{-5}	-1.747×10^{-7}
圧電定数 [C/m^2]			
e_{11}	−0.474	3.010×10^{-5}	-7.924×10^{-7}
e_{14}	0.0573	3.288×10^{-3}	-2.216×10^{-5}
誘電率			
$\varepsilon^S_{11}/\varepsilon_0$	18.81	1.339×10^{-5}	1.487×10^{-7}
$\varepsilon^S_{33}/\varepsilon_0$	74.55	-1.376×10^{-3}	1.977×10^{-6}
密度 [kg/m^3]	6109	-1.507×10^{-5}	-2.006×10^{-8}

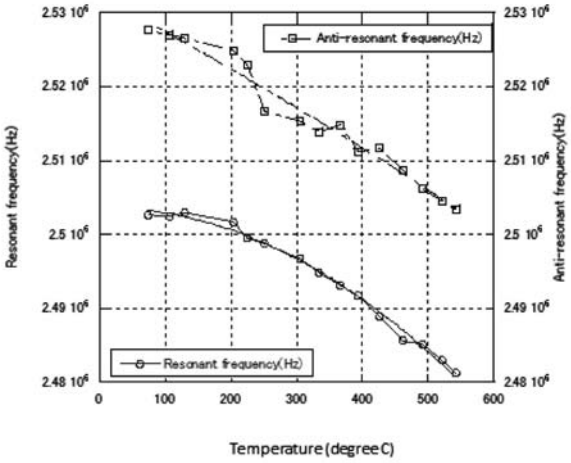


図１　LTGA 単結晶の厚みすべりモードでの共振・反共振周波数の温度特性

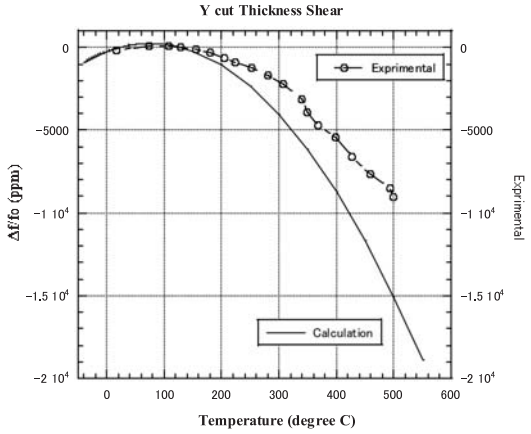


図２　LTGA 単結晶の厚みすべり共振周波数の温度変化率の実験値と計算値

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した．また，本プロジェクトで明らかになった各種圧電単結晶材料の弾性･圧電特性の評価法として，直線集束ビーム（Line-Focus-Beam: LFB）超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー（Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS）技術」と共振・反共振法で得られる材料定数に関する共同研究という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき，材料定数測定法の融合など，今後の発展が期待される．

圧電材料の高性能化に重要な役割を果たす原材料の酸化鉛($Pb(Zr,Ti)O_3$等)は，廃棄処理などによる環境に悪影響をもたらすことが報告されている．環境にやさしい高性能な非鉛系圧電性セラミックスの開発が急務となっている．さらに地球温暖化防止京都会議の議定書を受け，炭酸ガス等の排出量規制が行われ，各国で対策が講じられている．そのため，自動車の内燃機関用燃焼圧測定や発電所等や電気炉内で内部または移動中の物体の測温で，高温まで使える高精度な RF 温度・圧力センサが必要である．それにはシリンダ内の苛酷な環境にも耐え得る圧力・温度センサが必要である．

高温用圧電材料に要求される性能は，

☆非鉛圧電体である，

☆キューリ温度や相転移温度が高い，

☆高温で高い電気抵抗率を有する，

☆圧電性が大きく，その温度依存性が小さい，

☆焦電効果小さい（又はない）（応力による発生電荷と重複）

現在使用されている圧電材料には，水晶，PZT，$LiTaO_3$，$LiNbO_3$ 等があるが，高温センサとしては先に述べた理由で不適当である．一方，ランガサイト系単結晶は非鉛であり，融点（約 1325-1500℃）まで相転移を起こさなく，水晶と同じ結晶構造をとり，焦電性もなく（応力による発生電荷と重複しない），品質係数 Q が非常に大きいことが特長である．この材料を用いれば高温用の燃焼センサー等への応用が期待される．

このように，高温用圧力センサの需要は今後ますます高くなり，この分野でのランガサイト系圧電単結晶は将来性・可能性が極めて高い．

［４］成果資料

(1) 大橋　雄二、唐木　智明、呂　寿、荒川　元孝、安達　正利、櫛引　淳一「$La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}Al_{0.2}O_{14}$単結晶の音響関連物理定数と温度係数の測定」第31回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するするシンポジウム、2010年12月6-8日、明大

(2) 安達　正利、唐木　智明、大橋　雄二、荒川　元孝、櫛引　淳一「ランガサイト系圧電単結晶の現状とその動向」圧電材料・デバイスシンポジウム 2011、B-1、pp.11-14、2011 年 1 月 31 日 - 2 月 1 日、東北大学工学部青葉記念会館

(3) N. Onozato, M. Adachi and T. Karaki, "Surface Acoustic Wave Properties of $La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}O_{14}$ Single Crystals",Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, No. 5B, pp. 3028-3031(2000).

(4) M. Adachi, T. Karaki and W. Miyamoto, "Surface Acoustic Wave Properties of $La_3Ga_5SiO_{14}$ (LANGASITE) Single Crystals", ,Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, No. 5B, pp. 3283-3287(1999).

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

採択番号　Ｈ２１／Ａ０５

電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究

［１］組織

代表者：佐橋　政司
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山 和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
浅野 秀文（名古屋大学 教授）
中谷 亮一（大阪大学 教授）
五味　学　（名古屋工業大学 教授）
今村 裕志（産業技術総合研究所）

研究費：物件費 19 万 2 千円，旅費 18 万円

［２］研究経過

HDD 磁気ヘッドや MRAM，STRAM など，発展を続けているスピントロニクスの研究開発は，近年ますますその応用分野を広げようとしており、研究の中心が，これまでのスピン注入磁化反転からスピンダイナミクスや磁化の電界操作などの酸化物スピントロニクスへと大きく変わって来ている。本プロジェクトは，電界による磁化の反転操作やスピンダイナミクスなどの基礎研究のストレージ・メモリ，発振器，センサなどへの新たな展開の可能性を調査することを目的として行った。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は，磁化の電界操作に関する分担者を含めた日米研究者との議論による研究の方向性の絞り込みと代表者らの極薄クロム酸化物の電気磁気効果に関する研究を行い、クロム酸化物などの電気磁気効果反強磁性体膜を用いた磁化の電界操作が，その操作原理(磁界と電界の向きが平行、反平行で制御)から磁化反転には有望であることを明らかにした。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，酸化物スピントロニクスおよびスピンダイナミクスの新たな応用展開に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

酸化物スピントロニクスおよびスピンダイナミクスの新たな応用展開を議論する目的で，プロジェクト主催の研究発表会として，第 12 回，並びに第 13 回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」を下記日時にて開催し，議論を深めた。

第 12 回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」
テーマ:「電圧・電流によるスピン制御とスピンダイナミクスの最新の話題」
日時: 2010 年 12 月 16 日(木) 午後 1 時から 5 時 10 分
場所：東北大学・大学院工学研究科・電気情報系 2 号館 2 階 204 室
共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座
研究会講演の内容:
1. 挨拶と研究紹介
(極薄酸化物層を用いたスピントロニックデバイスの最近の話題)
東北大学電子工学専攻 佐橋政司，澤田和也
2. 「反強磁性 α-Cr_2O_3(0001)薄膜による垂直交換バイアス」
大阪大学 白土 優，中谷亮一
3. 「$BiFeO_3$ 系マルチフェロイック薄膜の極薄膜化とスピンフィルター素子への応用」
名古屋大学 浅野秀文
4. 「マルチフェロイックにおける磁化の電場制御」
東北大学多元物質科学研究所 有馬孝尚
5. 「トンネル磁気抵抗素子を用いた高出力発振素子」キヤノンアネルバ 前原大樹
6. 「スピントルク発振素子の再生ヘッド応用」東芝 RDC 佐藤利江

この回では，自然酸化法やスパッタ法により形成された電気磁気効果反強磁性膜研究の最近の話題，新しい構造のマルチフェロイック酸化物の提案や分極計測法の提案，マルチフェロイックトンネルバリアを用いた新規な MTJ の提案研究，スピンダイナミクスの発振器やセンサへの応用などの最近の研究が発表され，酸化物スピントロニクスとスピンダイナミクスの新たな応用展開についての理解が深まった。

第 13 回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」
テーマ:「マイクロ波アシスト磁気記録および磁気イメージングの最新の話題」
日時:2011 年 3 月 11 日(金) 午後 1 時から 5 時 40 分までだったが，東日本大地震が起きたため中断となった。
場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系 2 号館

4階 403室
共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座
研究会講演の内容:
1. 挨拶とこのテーマを取り上げた意義についての説明
東北大学電子工学専攻 佐橋政司, 三宅耕作
2.「マイクロ波アシスト磁化反転の解析的アプローチと磁化反転基礎実験」
東北学大学 多元物質科学研究所 岡本聡
3.「マイクロ波アシスト記録用スピントルクオシレータの検討」富士通(株)　上原 裕二
4.「「垂直磁化膜におけるマイクロ波アシスト磁化反転」大阪大学 吉岡孝
5.「交番磁気力顕微鏡の開発と磁場方向検出への応用」秋田大学 齊藤 準
6.「スピン偏極 STM による単一原子、単一分子、単一ナノ磁石の最近の研究動向〜電界による鉄ナノ磁石の制御〜」千葉大学 山田豊和

この回では, 東日本大地震のため, 多くの議論を闘わせることが残念ながら出来なかったが, HDD ストレージなどの磁気記録, STRAM などのメモリともに, 超微細領域および超微細素子での磁化反転が中心的課題となっていること, および現在盛んに研究が行われているものだけでは不十分であるとの共通認識をもつことが出来たのは成果であった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は, 以下に示す研究成果を得た。

まず第1に, 分担者である中谷グループより, スパッタ法で作製した(0001)面 Cr_2O_3 の交換結合バイアスと Cr_2O_3 膜厚との関係についての報告があり, 交換結合バイアスが得られる温度は, 膜厚とともに減少し, 50nm では 170K 以下の低温でしか交換結合バイアスが得られないが, この値はスパッタ膜においても 0.3erg/cm² と充分大きいことが判った（Appl. Phys. Express 3 (2010) 113001）。しかしながら室温での交換結合バイアスには課題が残った。

第2に, 前年度に世界で初めてオングストロームオーダの Cr_2O_3 を用いた界面磁化の電圧操作に成功したスピンバルブ系と同一系での継続研究を行い, 磁気抵抗比(MR)のトレーニング効果(κ_{MR})において, スピントランスファーとは異なる明瞭な電界にによる界面磁化の変化を観測したことである。

（1）$\pm 6\times 10^4$ *A/cm²* 程の電流密度が生じる±電界をスピンバルブ膜 (Si/Alumina/NiFeCr/IrMn/$Co_{90}Fe_{10}$/Cr_2O_3/$Co_{90}Fe_{10}$/Cu/$Co_{90}Fe_{10}$) に印加した時のトレーニング効果 κ_{MR} と微弱な電流密度(±6 A/cm²)に相当する±電界を印加したときの κ_{MR} との差 $\Delta\kappa_{MR}$ の温度依存性を図1に示す。＋電流(電界)は, 電流をピンド方向に印加した場合であり, －電流(電界)は, 電流をピンド方向と反対に印加した場合である。正の $\Delta\kappa_{MR}$ は, 電界の印加により界面磁化の反転が促されていることを意味し, 負の $\Delta\kappa_{MR}$ は,反転が抑制されていることを意味している。このような電流(電界)印加による界面磁化の非対称な変化は, スピントランスファーに基づく電流効果(対称)とは異なるものであり, Martin と Anderson が提唱した Cr_2O_3 反強磁性ドメインのスイッチングで説明されるものである。また、温度依存性に現れる正負の $\Delta\kappa_{MR}$ のピークは, 先に報告している κ_{MR} のピークと良く一致していることからも妥当である。

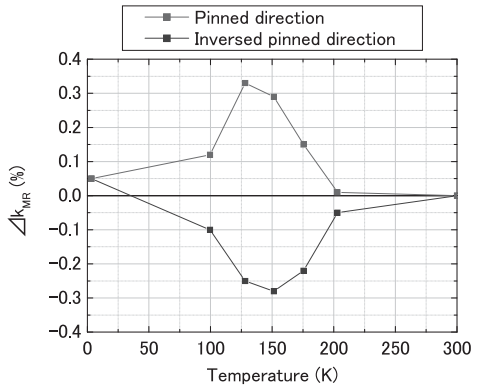


Fig.1 Temperature dependence on $\Delta\kappa_{MR}$

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより, MPB (Morphotropic Phase Boundary) 研究会など, 学外研究者との交流が飛躍的に活性化し, 強磁性体, 強誘電体, 強弾性体との融合領域研究の発展へ繋がった。また, 本プロジェクトで明らかになったスピンバルブ膜における Cr_2O_3 の電気磁気効果を用いた磁化の操作やマルチフェロイック酸化物を用いた Tunneling ElectroResistance (TER)の成果は, 低電圧駆動による多値メモリという新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき, 今後の発展が期待される。

［4］成果資料

本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リスト:

1.“Magnetoelectric effect of ultra thin Cr_2O_3-Fe_2O_3 oxide”, N. Shimomura, K. Sawada, M. Doi, and M. Sahashi, Appl. Phys. Lett. submitted.

2.“Negative Interlayer-Coupling-Energy Enhancement and Phase Control of Spin-Valves by Inserted Specular-Reflection-Layer”, K. Sawada, N. Shimomura, M. Doi, and M. Sahashi, JJAP submitted.

3.“Spin scattering asymmetric coefficients and enhanced specific interfacial resistance of fully epitaxial CPP-GMR spin valves using alternate monatomic layered [Fe/Co]n and a Ag spacer layer”, J. W. Jung, R. Shiozaki, M. Doi, and M. Sahashi, J. Appl. Phys. **19**, 07C510 (2011)

4.“Spin-Transfer Torque Driven Ferromagnetic Resonance in Nano-Contact Magnetoresistive Devices and Its Characteristics”, Y. Okutomi, K. Miyake, M. Doi, H. N. Fuke, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phy. **19**, 07C727 (2011)

5.“Spin-Transfer-induced microwave oscillation in spin valves with ferromagnetic nano-contacts in oxide spacer layer”, M. Doi, H. Endo, K. Shirafuji, S. Kawasak, M. Sahashi, H. N. Fuke, H. Iwasaki, and H. Imamura, J. Phys. D : Appl. Phys. **44** (2011) 092001 (4pp) FAST TRACK COMMUNICATION

6.“Confirmation of Magneto-Electric Effect in the Ultra Thin Cr_2O_3 Oxide”, N. Shimomura, K. Sawada, M. Doi, and M. Sahashi, MMM2010, Atlanta, GA, USA

7.“Anomalous temperature dependence of training effect in specular spin valve using ultrathin Cr_2O_3-nano-oxide layer with magnetoelectric effect”, Kazuya Sawada, Naoki Shimomura, Masaaki Doi, and Masashi Sahashi, J. Appl. Phys. **107,** 09D713 (2010)

8.“Interlayer Coupling Through Cu Spacer and Its Unique Temperature Dependency in Spin Valve With $Co_{1-x}Fe_x$/Cr-NOL”, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and M. Sahashi, IEEE Trans. Magn.**45 ,** 4019 (2009)

9.“ナノ構造磁性酸化物層を含むスピンバルブ薄膜の磁気結合”, 澤田和也, 遠藤広明, 土井正晶, 佐橋政司, 日本磁気学会誌 **32**, 205 (2008)

10.“Exchange Bias Characteristics in Specular Spin Valve System With Embedded (Co-Fe)/Cr Nano-Oxide Layer in Pinned Ferromagnetic Layer”, M. Sahashi, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and N. Hasegawa, IEEE Trans. Magn. **43**, 3668 (2007)

11.“Structural characterization of $Co_{100-x}Fe_x$ nano-oxide layer”, Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, J. Appl. Phys. **99**, 08R703 (2006)

12.“Enhancement of Room Temperature -Exchange Biasing in Specular Spin Valvres”, Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiroaki Endo, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn. **41**, 2932 (2005)

13.“Exchange coupling and NOL magnetism consideration in $Co_{1-x}Fe_x$ specular spin-valves”, M. Doi, M. Izumi, Y. Abe, H. Fukuzawa, H. N. Fuke, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Magn, Magn. Mater. **287** (2005), 381

14.“Magnetism of $Co_{1-x}Fe_x$-NOL in Specular Spin-Valves”, Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn. **40** (2004), 2263

15.“Nano-oxide-layer specular spin valve heads with synthetic pinned layer: Head performance and reliability”, N. Hasegawa, F. Koike, K. Ikarashi, M. Ishizone, M. Kawamura, Y. Nakazawa, A. Takahashi, H. Tomita, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phys. **91** (2002), 8774

16.“Specular spin-valve films with an FeCo nano-oxide layer by ion-assisted oxidation”, Hideaki Fukuzawa, Katsuhiko Koi, Hiroshi Tomita, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, J. Appl. Phys. **91** (2002), 6684

17.“Feature of Current-Induced Microwave Oscillation in Nano-Contacts Magneto-Resistive Devices After High-Temperature Annealing”, Tetsuya Nakamura, Hiroshi Suzuki, Yoshihito Okutomi, Masaaki Doi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi”, IEEE Trans. Magn. 46 (2010), 2212

18.“High Level Oscillation With Narrow Linewidth in Magnetic Nano-Contact Spin Torque Oscillator With Synthetic AF Spin-Valve Structure”, Hiroaki Endo, Toshiyuki Tanaka, Masaaki Doi, Susumu Hashimoto, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn. 45 (2009), 3418

共同プロジェクト研究

採択回数 | 1 | (2) | 3

採択番号　Ｈ２１／Ａ０６

自己組織化マルチナノピラー構造によるSTTマイクロ波発振とその応用に関する研究

［１］組織
代表者：土井　正晶
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐橋　政司（東北大学大学院工学研究科）
三宅　耕作（東北大学大学院工学研究科）
遠藤　哲郎（東北大学学際科学国際高等研究センター）
小野　輝男（京都大学化学研究所）
鈴木　義茂（大阪大学大学院工学研究科）
今村　裕志（産業技術総合研究所）

研究費：物件費１９万２千円，旅費１８万円

［２］研究経過

本研究・開発の目的は、ナノ磁性体におけるスピンダイナミクス（R）を利用したGHｚ帯のマイクロ波発振に関する研究を行い、近年ますますその重要性を増している簡便で高効率(高Q)、超小型・超低消費電力のマイクロ波発信デバイスを開発することである。このようなナノ磁性体を用いた新規なマイクロ波の発信機構は、従来の半導体集積化デバイスの一部に、自己組織化により集積化されたナノ磁性体から成る発信回路を組み込むだけで実現されるものであり、従来の半導体デバイス発振機と比較して簡便、超小型・超低消費電力のGHｚ帯マイクロ波デバイスへの道を切り拓くものである。また、その原理からナノ磁性体中の磁化の方向、バイアス磁界、電流などにより発信周波数を調律可能(Tunable)なデバイスとすることも可能であり、近年特に研究が活発化しているユビキタス電子タグ、チップ間無線通信のような至近短距離を対象とした情報通信用の新デバイスの進展に大きく寄与するものであり、コミュニケーション用通信技術等にも展開が期待できる。本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。

前年度までに，まず第１に，MR変化率が4~6%と低いにも関わらず、高い出力の発振を観測したことから、磁壁が狭窄された健全な導電チャネル間もしくは狭窄磁壁内でのコヒーレント位相マイクロ波発振が起きていることを示唆する結果が得られた。同素子において得られた最大出力は約0.2nW，最大Q値は約600である。さらに、リファレンス層の磁化反転部において高いQ値(f/Δf: 600，Δf=12MHz)のシャープな発振が、7GHz近傍で観測され、その出力レベルはおおよそ20nV/√Hzに達することが明らかとなった。第２に，フリー層の磁化方向がリファレンス層の磁化方向と完全に反平行であるときには発振が観測しにくいといった本系独特の特徴ある実験結果が得られた。第３に，外部からのマイクロ波投入によるスピントランスファーマイクロ波発振との電気的フェーズロッキングの検証を行った。そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，STTマイクロ波発振とその応用に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

今村ら（産業技術総合研究所）の理論研究グループとナノ狭窄磁壁型（ナノコンタクト（NC））MR素子のSTTマイクロ波発振について年間５回の研究打ち合わせを行った。

STTマイクロ波発振と新たな枠組みでの研究手法のコーディネートを模索することを考え、下記研究会を開催した。

「通研共同プロジェクト」（「自己組織化ナノ磁性体のSTTマイクロ波発振と応用に関する研究」と「電気磁気効果酸化物薄膜のスピントロニック応用に関する研究」の合同開催）の研究会として、超微細電子工学講座（佐橋研究室）・第13回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」を下記日時にて開催した。今回は、高密度磁気記録技術として、期待を持たれているマイクロ波アシスト技術に関する最近の進展と高密度磁気記録の評価に必要な磁気イメージングに関連した最近の話題について下記の講演いただく企画を立てた。しかし、研究会の開催中に東北地方太平洋沖地震が発生したため、途中中止に至った。

テーマ:「マイクロ波アシスト磁気記録および磁気イメージングの最新の話題」

日時: 2011年3月11日（金）13:00～17:40
場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系2号館2階403ゼミ室
共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」
＜研究会講演内容＞
挨拶（マイクロ波アシスト磁気記録および磁気イメージングの最新の話題） 佐橋政司 東北大学工学研究科
【マイクロ波アシスト磁気記録】
1.「マイクロ波アシスト磁化反転の解析的アプローチと磁化反転基礎実験」 東北学大学 多元物質科学研究所 岡本聡
2.「マイクロ波アシスト記録用スピントルクオシレータの検討」富士通(株) 上原 裕二
3.「垂直磁化膜におけるマイクロ波アシスト磁化反転」 大阪大学大学院 基礎工学研究科 吉岡孝
【スピントルクマイクロ波発振とその応用】
4.「交番磁気力顕微鏡の開発と磁場方向検出への応用」 秋田大学大学院 工学資源学研究科 齊藤 準
5.「スピン偏極ＳＴＭによる単一原子、単一分子、単一ナノ磁石の最近の研究動向 ～電界による鉄ナノ磁石の制御～」千葉大学大学院 融合科学研究科 ナノサイエンス専攻 山田豊和

［3］成果
（3－1）研究成果
本年度は，以下に示す研究成果を得た。
まず第1に，フリー層とリファレンス層の磁化方向を180° から変化させることを目的に、膜面内において印加磁場の方向を変化させてNCMR素子のマイクロ波発振特性の測定を行った。特に発振周波数および発振強度に着目し，その外部磁場方向及び印加電流依存性を調べ、マイクロ波の発振特性を磁壁のダイナミクスから考察した。マイクロ波の測定はスペクトルアナライザ（100MHｚ～18GHｚ）を用いて行った。外部磁場は膜面水平に印加し、印加方向を膜面内において回転させ、フリー層の磁化容易軸に対して所定の角度方向に磁場を印加した状態でマイクロ波を測定した。印加磁場方向はフリー層の磁化がリファレンス磁化と反平行になる方向を＋方向とし、反平行を 0° と定義した。電流方向は素子のフリー層からリファレンス層へ流れる方向を＋方向としている。電流方向＋において発振強度は40°のとき最大を示し（図1）、最大で10倍以上の発振強度となり、半値幅は極小（～15MHz）を示した。また、発振周波数は印加磁場の角度が大きくなるほど周波数が減少する傾向が見られた。この結果は今村らによる狭窄磁壁のスピントルク発振のシミュレーションの結果と一致しており、狭窄された磁壁に起因したコヒーレント発振であることが示唆された[1]。第2に，磁化反平行状態を 0deg.と定義して印加磁場を膜面内方向で回転させ、ネットワークアナライザを用いたナノ狭窄構造薄膜のスピントルク強磁性共鳴（ST-FMR）による直流電圧スペクトルを測定した。図2に、本実験で用いたNCMR素子におけるマイクロ波発振スペクトルとST-FMRスペクトルを示す（H=600Oe、θ=10deg.）。ST-FMRスペクトルと発振スペクトルはともに9GHz付近で共鳴および発振を示した。ST-FMRスペクトルではフリー層磁化の共鳴と考えられる周波数以外に複数の共鳴ピークを示した。一方、発振スペクトルは線幅の狭い単一のスペクトルのみである。この両者の差異を周波数の磁場変化のキッテル式を用いたフィッティング解析から強磁性ナノコンタクトに幾何学的に閉じ込められた磁壁のスピントルク振動に基づいて考察を行った[5]。この結果からスピントルクレシーバとしての応用の可能性を明示した。

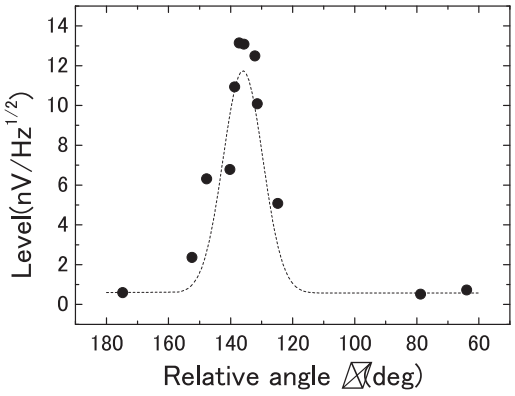


図1．ナノ狭窄磁壁型マイクロ波発振素子の発振強度の磁化相対角度依存性

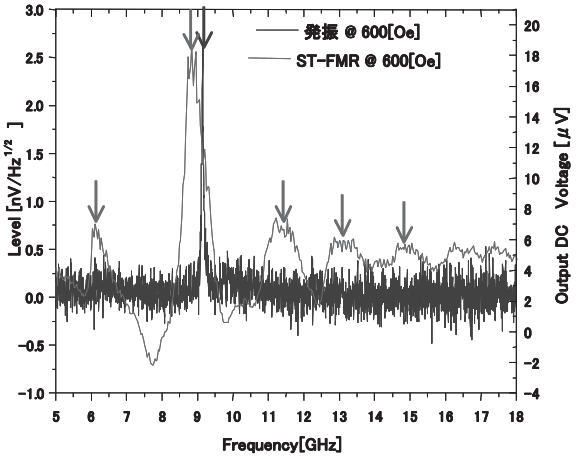


図2． ナノ狭窄構造薄膜のスピントルク発振とスピントルク強磁性共鳴

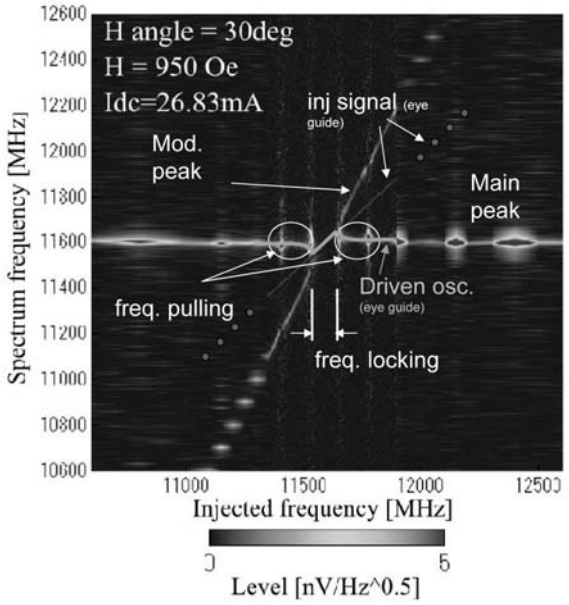


図３．ナノ狭窄磁壁型マイクロ波発振素子における外部からのマイクロ波(交流)投入によるスピントランスファーマイクロ波発振との電気的フェーズロッキングおよび周波数変調

第３に，図３に示すように外部からのマイクロ波(交流)投入によるスピントランスファーマイクロ波発振との電気的フェーズロッキングの検証を行った[(3)]。その結果、フェーズロッキングのための投入電流閾値および周波数閾値を明らかにした。また、フェーズロッキング周波数以外の投入周波数では本系特有の変調効果が認められた。

第４に、ナノ狭窄磁壁型マイクロ波発振素子において、マイクロ波発振出力はMR比の増加に従い、増加することを確認した。高MR比（～20%）を示すナノ狭窄磁壁型マイクロ波発振素子において～μW級（半値幅⊿f = 6.5 MHz）の発振出力を可能とする発振を見出した[(4)]。実用に向けたスピントルクオシレータ開発研究への指針が示された。

（３－２）波及効果と発展性など

本研究課題はNEDO「省エネルギー革新技術開発事業／挑戦研究／チップ間信号伝送用マイクロ波発振素子の開発」（研究代表者：佐橋政司）に展開している。また、本研究成果の一部を招待講演において報告し（“Spin Torque Microwave Oscillation on Spin-valve Elements with Ferromagnetic Nano-contacts” M. Doi, H. Suzuki, H. Endo, T. Nakamura, T. Tanaka, H. N. Fuke, S. Hashimoto, H. Iwasaki, and M.Sahashi, ISAMMA 2010, Sendai, Japan ,July 15(2010))、JEMS 2010およびINTERMAG2011などの国際会議において報告している。

本プロジェクト期間中に明らかになったナノ狭窄磁壁型（ナノコンタクト（NC））MR素子のSTTマイクロ波発振の研究成果，すなわち高密度電流注入とマルチチャネルによるアレイ化は、高出力発信ならびに、そのTunable化がミクロンサイズで可能となり、ナノ構造デバイス間における高速無線通信機能の実現、およびそれを用いたナノ通信システムの構築を可能とし、例えばバイオセンサーを用いた詳細な生体情報のリアルタイム測定、NEMSの無線遠隔操作、複数のナノマシン同士の無線通信を介した共同作業、電子回路間のチップ間無線通信、マイクロ波・ミリ波を利用した超高密度記録などが可能となり、波及効果は図り知れないものがある。２１世紀の新たなユビキタスを生み出す短距離応用デバイスに画期的な革新をもたらすとともに、スピントランスファー駆動による電子デバイス分野で、国際的な主導権を発揮できることが期待される。

［４］成果資料

（１）H. Suzuki, T. Nakamura, H. Endo, M. Doi, H. Tsukahara, H. Imamura, H. N. Fuke, S. Hashimoto, H. Iwasaki, and Masashi Sahashi, “Enhancement of Microwave Oscillation under Angled In-Plane Magnetic Field in Ferromagnetic Nano-contact Spin-valves”, Appl. Phys. Lett., submitted.

（２）M. Doi, H. Endo, K. Shirafuji, S. Kawasaki, M. Sahashi, H. N. Fuke, H. Iwasaki and H. Imamura, ”Spin-transfer induced microwave oscillation in spin valves with ferromagnetic nano-contacts in oxide spacer layer”, J. Phys. D, Fast Track Communication, 44 (2011) 092001

（３）Muftah Al-Mahdawi, Masaaki Doi, Susumu Hashimoto, Hiromi N. Fuke, Hitoshi Iwasaki and Masashi Sahashi, “Frequency modulation of a nano-oxide layer based spin-torque oscillator with FeCo nano-contacts”, IEEE Transactions on Magnetics, submitted.

（４）T. Nakamura, M. Doi, S. Hashimoto, H. Iwasaki and M. Sahashi., “Coherent and High-powered Microwave Excitation in NCMR Spin-Torque Oscillator”, submitted.

（５）Yoshihito Okutomi, Kousaku Miyake, Masaaki Doi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, “Spin-transfer torque driven ferromagnetic resonance in nano-contact magnetoresistive devices and its characteristics”, J. Appl. Phys., 109,07C727(2011)

（６）T. Nakamura,H. Suzuki, H. Endo, T. Tanaka, M. Doi, S. Hashimoto, H. N. Fuke, M.Takagishi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, “Feature of Current-Induced Microwave Oscillation in Nano-contacts Magnetoresistive Devices after High-Temperature-Annealing”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol.46, (2010) 2212-2215.

（７）田中俊行，遠藤広明，土井正晶，福家ひろみ，岩崎仁志，佐橋政司，“Fe/AlO_x-NOLを用いたNCMR素子におけるマイクロ波発振の特徴”,日本磁気学会誌, 34 (2010) , 297-300

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　Ｈ２１／Ａ０８

直列接続共鳴トンネル素子を用いた高性能 THz 信号源の研究

［1］組織
代表者：前澤　宏一
（富山大学大学院理工学研究部）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
森　雅之（富山大学大学院理工学研究部）
潘　杰　（富山大学大学院理工学研究部）
中野　純（富山大学大学院理工学研究部）
早野　一起（富山大学大学院理工学研究部）
安藤　浩哉（豊田高専情報工学科）

研究費：物件費 22 万 7 千円、旅費 28 万 4 千円

［2］研究経過

共鳴トンネル素子は THz を超える高速性を持つ高周波デバイスであり、最近 THz 領域の信号源として注目を集めている。しかし、共鳴トンネル発振器にはスプリアス発振やバイアス不安定性という大きな問題があり、これまでその出力はマイクロワットレベルと非常に小さなものであった。我々はこの問題を抑制できる新しい構成の発振器を提案している。本応募課題の目的はこの提案を用いて高効率・高出力な THz 信号源を実現することにある。

本プロジェクトは、本年度が第２年度であった。前年度は上記目的を達するため、発振器の構成に関する、より具体的な検討を行うとともに、実際に試作するために必要なプロセス技術の検討を行った。また、この過程において、実用上重要な負荷変動に強い 3 相発振器を提案し、その可能性についても検討した。本年度は、これを受けて、基本回路の試作を行ったが、そこでプロセス的問題に遭遇し、この解決策を検討した。また、前年度提案した 3 相発振器に関して検討を続け、よりシンプルな構成で同様な効果が得られることを明らかにした。さらに、より高次の高調波が利用可能な新しい発振器の提案を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

まず、直列接続共鳴トンネル素子を用いた発振器の回路パラメータと、発振周波数、出力との関係の詳細について調べることを目的として試作を行った。ここでは、電気的測定が可能な比較的低い発振周波数（～30GHz）をもつ発振器をターゲットとし、回路設計、パターン設計の後、フォトリソグラフィー、ウエットエッチング、ドライエッチング、電子ビーム蒸着、リフトオフなどを用いて試作を行った。

しかし、この試作中、共鳴トンネルダイオードのエミッタ構造の作製工程において問題が生じた。ウエットエッチング中に異常エッチングが生じ、ダイオード特性が得られないという問題である。この問題は、単体の共鳴トンネルダイオード試作では生じておらず、その原因を詳しく検討した。その結果、エッチング中に配線金属を通して異常電流が流れ、これがエッチングを促進していることが明らかになった。現在、この問題を解決した新しいマスクパターンで試作を行っているところである。

次に、高周波化が容易で、負荷変動に強い高調波発振器について前年度に引き続き検討を行った。前年度提案した 3 相発振器は、三つの共鳴トンネルペア発振器を長さ λ/3 の伝送線路で Δ 型に接続（共用共振器）したものに、その出力を合成する合成用の伝送線路を設けたものである。（図 1 参照）この構成だと、プレーナな配線レイアウトができず、交差配線を行う必要がある。しかし、その場合、線路間の結合が問題となり、これを考慮したパターン設計を行うのは非常に難しかった。そこで、本年度は、共用共振器を省き、出力合成回路自身に各発振器間の移相制御の役割を担わせることを考えた。これは、出力合成器の合成点で、電圧振幅 0 が、消費電力最小となることに基づく。まず、ADS を用いたシミュレーションにより、基本的な動作を確認した。その後、共鳴トンネルダイオードの面積にばらつきを持たせた回路でもシミュレーションを行い、回路の安定性を調べた。

さらに、共鳴トンネルを装荷したアクティブな伝送線路を用いた発振器についても検討した。これは、

共鳴トンネル素子を装荷することにより、増幅作用を持たせた伝送線路の両端をショートすることにより発振を得ようというものである。この回路において、共鳴トンネル素子を装荷する位置を変えることにより、発振信号の高調波成分の割合が変化することを見出した。特に、構造によっては、かなり次数の高い高調波が得られる可能性があることが分かった。

最後に、共鳴トンネル素子を用いたパルス発生器を利用した THz 信号生成についても検討した。これは、極短パルスに含まれる THz 成分をアンテナを通して出力しようというものである。

なお、これらの検討のため、前澤、安藤が東北大尾辻研究室を訪れ、打ち合わせを行った（平成 23 年 3 月 3 日）。

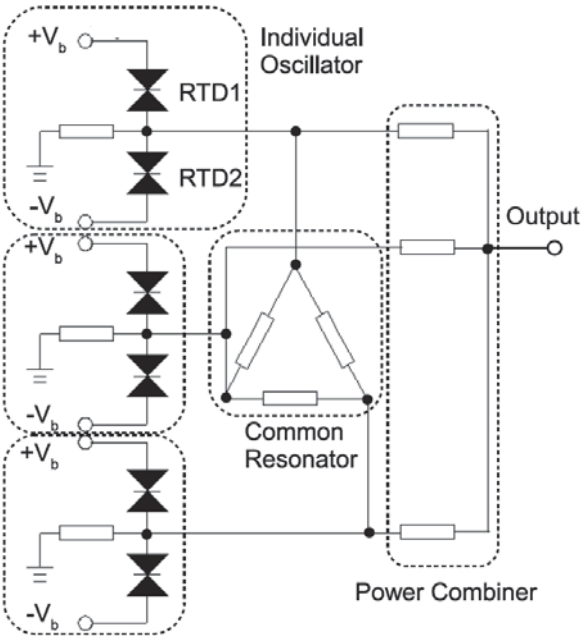


図 1　共鳴トンネルダイオードペアを用いた三次高調波発振器の基本構造図。Common Resonator を省略しても三相発振が得られることを確認した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

①基本回路の試作

共鳴トンネル素子作製工程における問題点の発見とその原因の究明を行い、安定した素子作製が可能になった。

②三次高調波を用いた共鳴トンネルペア発振器

共鳴トンネル発振器において問題となる、負荷インピーダンスによる発振周波数の変動を解決するために、三次高調波発振器の検討を行った。パターン設計で問題となる共用共振器のない、新しい構成の 3 相発振器を提案し、その可能性を明らかにした。

③共鳴トンネルペアを装荷したアクティブ伝送線路を用いた高調波発振器のの提案

より高次の高調波を得るために、標記回路の共鳴トンネル素子の装荷位置に着目し、検討を進めた。その結果、非常に高い次数（9 次）の高調波が強く出力される条件を見出した。

④極短パルス生成器を用いた THz 信号生成

極短パルスに含まれる THz 成分を共振器/アンテナを通して取り出すタイプの THz 信号源について検討を行い、その設計指針を明らかにした。

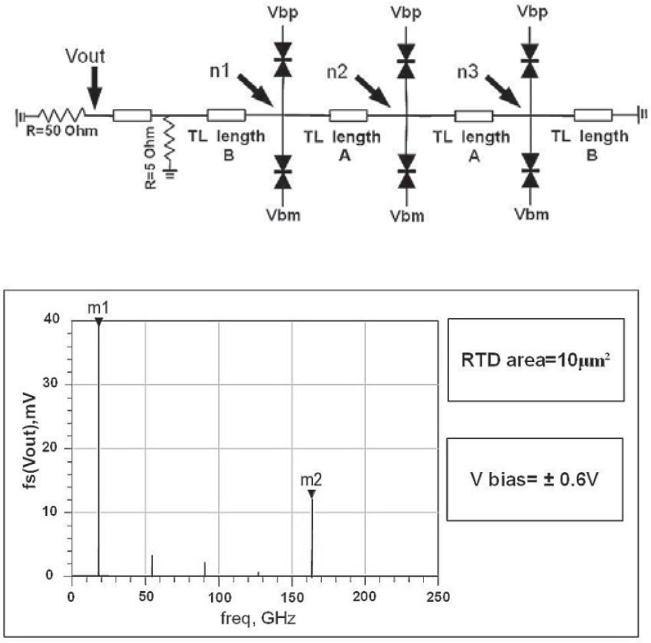


図 2　共鳴トンネル素子を装荷したアクティブ伝送線路を用いた発振器の概念図（上）とその発振スペクトルの例。非常に高次の高調波が強く出ている。

（３－２）波及効果と発展性など

本年度は、プロジェクト２年目として、実験的検証の基盤となる試作プロセスの確立を行うとともに、いくつかの新しい共鳴トンネル THz 信号源の提案を行った。本提案は、最近関心が高まっている THz 波(100GHz-10THz)の信号源として有望である。

［４］成果資料

[1] K. Maezawa, T. Ohe, K. Kasahara, and M. Mori, “A Third order harmonic oscillator based on coupled resonant tunneling diode pair oscillators,” IEICE Transactions Electronics, Vol.E93-C, No.8, (2010) pp.1290-1294.

[2] K. Maezawa, K. Kasahara, M. Mori, “A Traveling Wave Amplifier Based on Composite Right/Left Handed (CRLH) Transmission Lines Periodically Loaded with Resonant Tunneling Diode Pairs,” 22nd International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2010), Takamatsu, Japan, May 31-Jun. 4 (2010)

[3] K. Maezawa, S. Shibata, K. Takaoka and M. Mori, “High Speed Circuits Based on Resonant Tunneling Diodes and Their Application to Analog Digital Converters,” 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'10) Toyama, Japan, Sep. 22-26 (2010)

[4] 前澤、笠原、潘、森、「共鳴トンネルダイオードペアを装荷した右手/左手系複合伝送線路における信号増幅」、電子情報通信学会研究会発表予定、2011年2月24日

[5] 早野、森、前澤、「共用共振器を省略した共鳴トンネル3次高調波発振器」、電子情報通信学会総合大会、2011 年 3 月

[6] 潘、森、前澤、「High Frequency Oscillators based on Active Transmission Lines Loaded with Resonant Tunneling Diode Pairs」、電子情報通信学会総合大会、2011 年 3 月

[7] 小野、大嶽、安藤、「左手系伝送線路の単位セルを持つλ/4 伝送線路に関する研究」、電子情報通信学会総合大会、2011 年 3 月

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ａ０９

採択回数	1	②	3

様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発

［1］組織

代表者：佐藤　洋
（(独) 産業技術総合研究所）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
坂本修一（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 24 万円，旅費 14 万 5 千円

［2］研究経過

様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発は，近年ますますその重要性を増している。その背景を以下に述べる。現在社会は高齢化が進み，加齢による聴力損失を伴った人々が増加しているため，また，ハートビル法などに代表されるように，障害者が社会的に自立して公共施設を利用できるようなインフラの整備が進められようとしている。このように，生活環境から高齢者や障害者を排除しないためには，ヒトとヒト，またはヒトと空間や設備を利用する際のインターフェースとしての音声によるコミュニケーションシステムが十分機能し，ヒトと生活環境を調和させ，生活環境を構成する様々な製品，設備，及び施設の利便性が向上していくことが望ましい。ところが，これまで案内放送や会話などの音声情報の聴き取りに関して，日常生活環境において個人あるいは補聴器等のデバイスの装着している受聴者の音声の聴きとり能力を定量的に評価する方法がなかったため，確保すべき品質や，想定すべきユーザー像が明確に示されていなかった。

そこで，本プロジェクトでは，簡易的に音声聴取能力を計測するシステムを開発することを目的として研究を開始した。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。本年度は，本プロジェクトに基盤を構築するため音声聴取成績の測定システムの開発およびそれを用いた実験的研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

第 1 回打ち合わせは 5/27，28 に行った。その際は過去に行った単語了解度試験の手法や得られた結果の精度を元にして，短時間でより精度よく音声聴取能力を測定する際に考慮すべき課題を議論し，提示した単語を選択肢の中から回答させる選択方式が実験参加者の負担も少なく適切であるという結論を得た。その結論にしたがって，選択肢として使用すべき単語が具備すべき要件の検討を開始した。

第 2 回打ち合わせは 7/14 に行った。その際にはこれまでの検討結果から，正解となる単語に対し親密度が同程度で，かつ，音韻的に近い単語を選定すべきとの結論が得られ，それにしたがって実際に単語を選定した。さらに，測定システムを構成するソフトウエアの開発を行った。これまでの議論をまとめ，分担者の坂本が登壇し，「音場適用を考慮した簡易型単語了解度測定法の提案」の発表を日本音響学会 2009 年秋季研究発表会において行った。また，この発表に先立って，佐藤は開発中の試験法の必要性を示すための客観データをまとめた発表を招待講演として行った。

その後，開発したシステムを利用して産業技術総合研究所において計測を行った。

第 3 回打ち合わせは 2/2 に行った。その際には，計測システムを構成する可搬型装置の構成及び計測結果のまとめ方に関する議論を計測の途中経過をみながら行った。

第 4 回打ち合わせは 3/12，13 に研究会として行った。その際には使用している単語データベースの共同作者である，NTT 基礎研の天野成昭博士，近藤公久博士を招き，両氏の本課題に関連の深い研究成果を発表していただいた。また，効率的なデータ収集手法，データのまとめ方に関する議論，および，効果的な成果の発信について議論を行った。

［3］成果

（3－1）研究の成果

1)　成果の概要

本研究は，音声聴取能力測定のための，①試験用音声の作成，②代表的な音環境の作成，③測定手順の開発，④測定用ソフトウエアの開発，⑤測定機器の選定と作成，⑥測定システム検証のための被験者実験，の 6 つの項目からなる。本年度の成果それぞれの項目について記す。

①対応教員がこれまで研究対象としてきた単語を用いた音源を用いて，短時間測定を行うための単語の選択を行った。その上で，聴き取り間違いをおこし

た場合を想定した選択肢を作成した。
②音声聴取に対する妨害量が大きい音声スペクトルを持つ騒音を用いて測定手法の開発を行った。
③および④　測定手順及び実現するためのソフトウエアを開発した。
⑤)現在所有する機器を用いてソフトウエアの開発と実験を行った。
⑥高齢者と若齢者それぞれ 20 名程度を用いた騒音下での音声聴取実験を産業技術総合研究所で試験的に行った。提案方式と通常方式の大きな違いは回答方法と所要時間にある。提案方式の回答方法は画面に提示された６つの単語から聞こえた単語を選択する方法であり，通常方式は書き取る方法による。提案方式は 10 分程度で図のプロットを得ることができ，通常方式で同じ測定点数を得るために要する1/3 から 1/5 の所要時間で測定が終了する。図１に開発した測定システムのユーザーインターフェースを示す。



図１　開発システムのユーザーインターフェース

2)　開発手法の基本概念

本測定手法では，単語了解度を以下のような近似で表現し，実際の聴取実験により得られたデータに基づいて，近似された値を算出することを考えた。

単語了解度はS/N が向上するにつれて上昇し，累積正規分布関数やロジスティック関数といった心理測定関数で近似することが出来る。ここで，50%聴取域値はSpeech Reception Threshold（SRT）と呼ばれる。

本測定手法では，この心理測定関数における最大単語了解度，SRT，SRT での心理測定関数の傾きというの３つのパラメータで心理測定関数を近似することを考え，これら３つのパラメータが短時間で取得できるように聴取実験によりデータを取得する。

これまでの研究により，加齢に伴う単語了解度の変化が，先に示した３つのパラメータで近似可能であり，かつ，そのパラメータは平均聴力レベルから算出できるという結果が得られている。また，心理測定関数の傾きは平均的には被験者の聴力とは無関係であることがわかっている。したがって，今回提案するような手法のように，これらのパラメータを短時間で推定することで，聴取者個人の音声聴取能力を正しく測定できると考えている。

今回構築したシステムでは，親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007（FW07）に収録された単語群のうち，高親密度単語を提示した。音声が提示された後に実験参加者には,「提示された単語」,「一子音のみが異なる単語」「母音列は同じであるが子音が全く異なる単語」「母音子音ともに全く異なる単語（３単語)」の 4 種の単語を文字で表示し，その中から実際に聴取したと思う単語を選択させた。これら４種の単語については，単語間の親密度の差がないように選定した。

音場での音声聴取能力測定を考慮するため，スピーカを用いて刺激音を提示することとした。スピーカは聴取者に対し正面になるように設置し，校正用刺激により，各種ノイズ，刺激音声のレベルを頭部中心の位置で校正する。

3)　開発手法による計測結果と従来法との比較

前にも述べたように開発手法は短時間で測定できることおよび分析時間がかからず，即時に結果が出ることが特徴である。そこで従来法との測定結果を比較し，提案法の妥当性を検証する。

まず図２において２０名の若齢健常者を用いて測定した結果を示す。図２a は従来法により測定した結果であり，被験者１名あたりの使用単語数は 140 単語，また，測定所要時間は 20-25 分であった。その後に得点を算出するための手続きに 10 分程度要したため，30-35 分程度の所要時間であった。図２b は提案手法により測定した結果である。被験者１名あたりの使用単語数は 40 単語，測定終了直後に結果が提示されるため，被験者属性等の調査を含めても 10 分程度で全て測定が終了する。図２による比較により，従来法の測定のばらつきは小さく，提案法はばらつきが大きいことがわかる。ただし，従来法の曲線の傾きが大きいため，得点が 50%程度の条件での標準偏差は両手法とも 10%程度であり，同等である。最高得点に達した部分の得点に関しては従来法の標準偏差が 1%程度であるのに対し，提案法は 4%程度となる。選択肢選択に由来するばらつきなのか被験者の態度で統制できるばらつきなのかについて検証が必要である。曲線の傾きについては従来法は急峻でばらつきが小さく，提案法による結果は緩やかでばらつきが比較的大きい。図３に高齢者 24 名を用いて測定した結果を示す。若齢者と比較すると聴力像のバリエーションが大きいことからばら

つきが大きい。50%点近傍のばらつきは従来法が14%程度であるのに対し提案法は 20%程度となる。しかし，それぞれの曲線の対応はおおよそ一致しているように見える。以上のように単語数が少ないことと選択肢法を用いることによる測定のばらつきが生じる。しかし，曲線の傾向が一定であることから提案法から従来法への値の変換が必要な場合には容易に変換できると考えられ，今後その変換（推定）精度を検証する予定である。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究の成果として，音声聴取能力の測定に適用できる「様々な音環境のシミュレーション装置」,「音声聴取能力試験用音声試料」,「音声聴取能力試験装置（ソフトウエア）」が開発される予定である。個々の成果物に関する基本技術は申請者及び対応教員がすでに保持しており，両者の共同作業により，上記の成果が実現できると予想している。

本研究が実現することにより，聴覚情報環境のユニバーサル化を促進するツールとなり，質的により豊かな音声コミュニケーションの実現により，特に高齢者・聴覚障害者の QoL(Quality of Life)の向上を促進することができる。

本プロジェクトは，東北大学－産業技術総合研究所包括協定における研究プログラムとして開始され，現在に至る。またこの枠を超えた学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。本研究の成果は日本音響学会における音バリアフリー研究調査委員会でも報告されており，本研究のエッセンスをこの委員会で大規模に計測することに発展した。本プロジェクトによって開発される予定の音声聴取能力測定システムは，短時間で容易に音声聴取能力の測定が行えることから，幅広い応用が期待され，新たな実用的聴覚測定手段として今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

（1）坂本修一，佐藤洋，鈴木陽一，“音場適用を考慮した簡易型単語了解度測定法の提案，”日本音響学会講演論文集, 3-10-11（2009 年秋）

（2）佐藤洋，“空間の音声伝送性能と聴取者の音声聴取能力の関わり，” 日本音響学会講演論文集, 3-10-9（2009 年秋，招待講演）

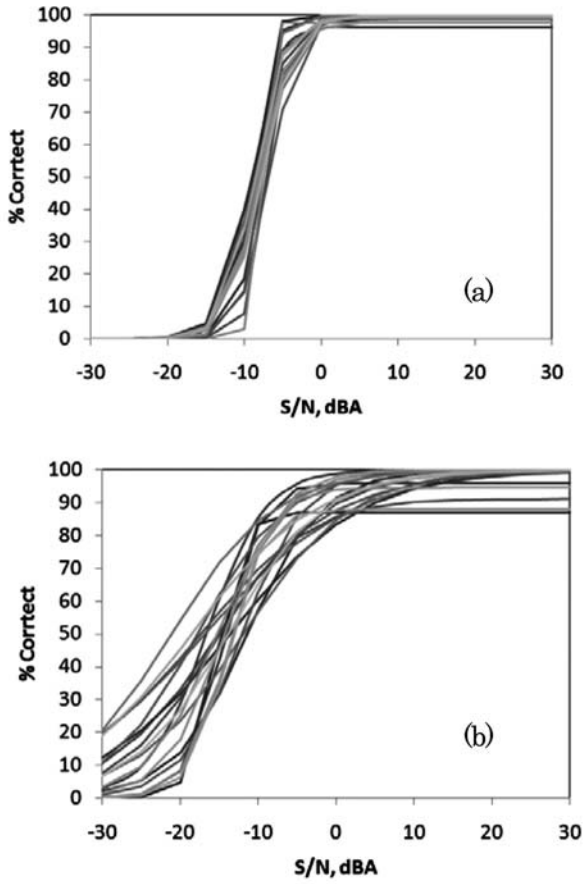


図２　若齢健常者 20 名による単語了解度計測結果. 上図(a)は従来法による結果, 下図(b)は提案法による結果.

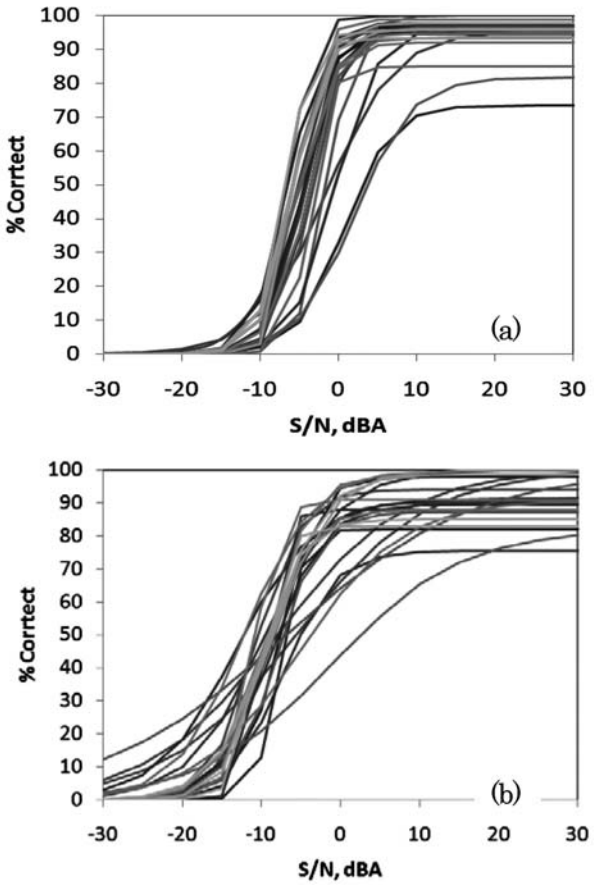


図３　高齢者 20 名による単語了解度計測結果. 上図(a)は従来法による結果, 下図(b)は提案法による結果.

共同プロジェクト研究

採択回数	1　②　3

採択番号　Ｈ２１／Ａ１０

３次元音響空間におけるコミュニケーションの高度化に関する研究

［1］組織
代表者：近藤　和弘
（山形大学大学院理工学研究科）
対応者：岩谷　幸雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
三浦　正範
（山形大学大学院理工学研究科）
小林　洋介
（山形大学大学院理工学研究科）

研究費：物件費２１万７千円，旅費９万６千円

［2］研究経過

本研究では、遠隔コミュニケーションにおける音空間の３次元化がもたらす高臨場感知覚への効果とそれを実現するためのシステム全体の仕様を明らかにすることで、音声を中心とした次世代マルチメディア・コミュニケーション環境の設計指針を図る。

高い臨場感を備えた遠隔コミュニケーション・システムでは、参加する人間同士があたかもその場を共有している感覚が必要になるが、これがコミュニケーションを活性化、円滑にするか明らかになっていない。例えば音声のみを用いたコミュニケーションでも各発話者の音像を水平面内で 45° 以上話せば −6 dB の SN 比でも音声了解度が 70%以下に低下しないことが分かっている。しかし遠隔コミュニケーション・システムとして本格活用のためには、さらに全体の遅延の影響、音声と映像の同期ならびに 3 次元空間内の相対配置、音像定位に用いる頭部伝達関数の精度の検討等、単に空間を提示するだけでなく、他の影響についても総合的に検討する必要がある。そこで本研究ではこれらの実際システムを構築する上で考えなければいけない要素を明らかにし、その影響を検討する。具体的には，コミュニケーション環境がどの程度高度化されたかを測定するために，音声了解度、没入感、臨場感など多面的な主観評価により検討する。

本プロジェクトは，本年度が２年目であった。本年度は，初年度で得た頭部伝達関数、ならびにこれを用いた了解度データを元にさらに広範な条件下で了解度測定を行った。また３次元空間内で提示した音声了解度を推定する足掛かりも検討した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

（1）まず電気通信研究所内の設備を用いて、山形大学所属学生５名分の個人頭部伝達関数の測定を行った。この測定では電気通信研究所内の大型無響室内に設置したスピーカーアレイより発生される試験音を各個人の外耳道入口に埋め込んだマイクで集音した。試験音は被験者を中心とする球面上を一定間隔でカバーする全ての点から発生し、集音する必要がある。このため、１名あたり１時間半以上の測定時間が必要であり、かなり大規模な集音・測定となった。

（2）測定した個人頭部伝達関数用いて、試験音声を正面および斜め 45° に音像定位し、妨害音を水平面上の任意の角度に定位し、音声了解度を測定した。また同じ測定をマネキンの頭部伝達関数を用いて行い、了解度を比較した。

（3）拡張音響現実感への応用を指向して、骨伝導ヘッドホンを用いて定位音声を提示し、スピーカーから妨害音を提示し、その了解度を測定した。骨伝導ヘッドホンは、提示音を頭蓋骨を直接振動させ知覚させるものであり、耳をふさぐことがない。そこで周囲音は耳から、仮想空間内の音声提示は骨伝導で同時に与えることができる。

（4）仮想空間内で提示した音声は聴取者の頭部運動に合わせて定位位置を変えないと、音像も頭部運動に不自然に追尾してしまう。このため頭部運動を検出して動的に頭部伝達関数を切り替える。頭部運動により音源との相対位置が変化し、この変化量を利用して音源位置の識別精度が向上する。これは了解度にも反映されると考えられるので、その影響を評価した。

以上の成果の一部は Audio Engineering Society 40th International Conference on Spatial Audio にて発表し、国内外の専門家の意見を伺った。

［3］成果

（3－1）研究成果

主だった成果のみ説明する。

（1）骨伝導ヘッドホンより東北大学よりご提供いただいたマネキンの頭部伝達関数を用いて水平面上0°、ならびに45°に定位した音声信号を提示し、その了解度を測定した。妨害音は水平面上の0°、±45°、±90°のいずれかから提示する。妨害音は骨伝導ヘッドホンより定位音声に混合して提示するもの(virtual)と、スピーカーから再生するもの(real)を比較した。図1に音声を0°より提示、図2に音声を45°より提示した音声対妨害音量比（SNR）別の了解度を示す。

このように、特に音声0°提示の場合は、妨害音がスピーカーである場合とヘッドホンである場合は前者が了解度は高く、SNRが低くなればその傾向は強まる。音声45°提示の場合は0°の場合に比べその差は大きくないものの、やはりスピーカー提示の方が良い傾向がみられる。これは空気伝導路を伝搬した妨害音と、骨伝導路を伝搬した音声の識別がより容易であったためと思われる。ただし提示45°の場合、その傾向が低下したのは、骨伝導路のクロストークの影響とみられるが、詳しい理由は未だ考察中である。

以上により骨伝導ヘッドホンを用いても十分音声の定位は得られため、今後拡張音響現実への応用を検討していく。

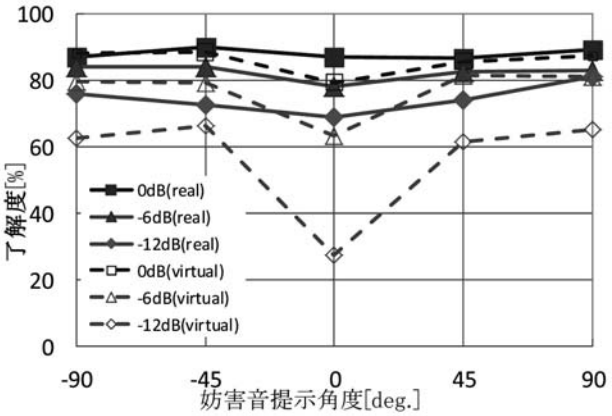


図1．音声0°提示の場合の了解度

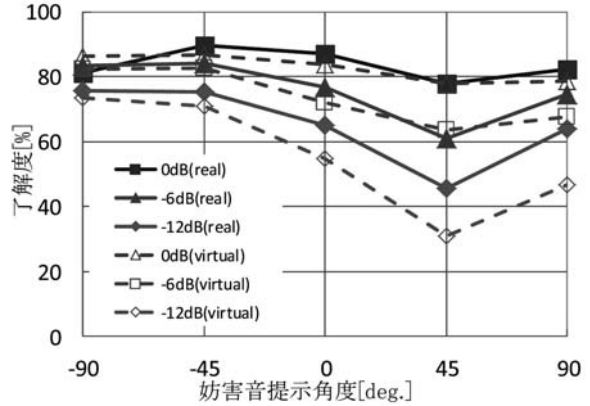


図2．音声45°提示の場合の了解度

（2）次に音像移動の了解度の影響を評価した。図3に定位音声位置を一定速度で変化させた場合(Unrestricted)と、固定した場合(Restricted)の了解度を示す。特にSNRが低くなると音像位置に変化がない（Restricted）方が了解度は高いことが分かった。すなわち妨害音と混在する音声の了解度は、頭部位置が変動しても音像位置は動かさない方が了解度は高くなることが分かった。よって音像位置の識別精度と了解度はあまり相関がないことが示唆された。ただし、頭部運動があっても音像は追尾してしまうので、不自然な音像定位にはなる。

このように、3次元音響を用いたこのようなシステムの音声提示の設計指針が示唆された。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果の一部は学生主筆1件、共著1件の国際学会発表につながっており、また彼らがその分野のトップの国外専門家と交流するきっかけとなり、大変に有意義となった。また、この学会で得たコメントを通して、未検討であった問題の発掘や、本プロジェクト研究の新しい発展につながっている。さらにその成果は、フルペーパーも学生による主筆1件、共筆1件につながっている。

また、本年も本プロジェクトを通じて球状スピーカーアレイを用いた全方向の頭部伝達関数測定を行うことができ、その際参加した新規の学部学生に他に類のない設備を使った音響実験を行う機会を与えることができた。

本年度の結果から、頭部伝達関数を合成して定位させた音声を用いた音響会議システムでは、骨伝導ヘッドホンを用いても通常のヘッドホンと変わりない性能が得られることも確認した。また了解度の面では音声再生中は、音像を動かさない方が有利であることも見出し、今後のシステム設計の指針につながっている。

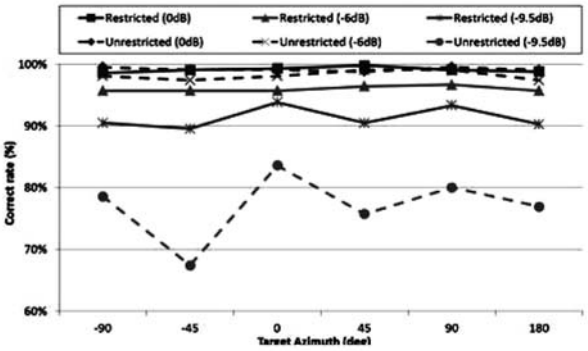


図3．音像移動の定位音声了解度への影響

［4］成果資料

（１） Yosuke Kobayashi, Kazuhiro Kondo, Kiyoshi Nakagawa, and Yukio Iwaya, "On the Influence of Coding Method on Japanese Speech Intelligibility in Virtual 3D Audio Space," Proc. AES 40th International Conf. on Spatial Audio, Tokyo, Japan (2010.10)

（2）Kazuhiro Kondo, Takayuki Kanda, Yosuke Kobayashi, and Hiroyuki Yagyu, "Speech Intelligibility of Diagonally Localized Speech with Competing Noise Using Bone-Conduction Headphones," Proc. Interspeech, Tue-Ses2-P3.1, pp. 1213-1216, Makuhari, Japan (2010.9)

（3）Yosuke Kobayashi, Kazuhiro Kondo, and Kiyoshi Nakagawa, “Intelligibility of HE-AAC Coded Japanese Words with Various Stereo Coding Modes in Virtual 3D Audio Space,” in Auditory Display, Lecture Notes in Computer Science, 5954, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, pp. 219-238 (2010.5)

（4）Kazuhiro Kondo Takahito Chiba, Yuichiro Kitashima and Noriyasu Yano, "Intelligibility Comparison of Japanese Speech with Competing Noise Spatialized in Real and Virtual Acoustic Environments," Acoust. Sci. & Tech., vol. 31, no. 3, pp.231-238 (2010.5)

（5）小林洋介、近藤和弘、“仮想音響空間内の音声了解度推定に用いるひずみ尺度の検討、” 平成 22 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, B-2-1 (2011.3)

（6）齋藤直、小坂哲夫、近藤和弘、“頭部運動が 3 次元空間の音像定位した音声了解度に及ぼす影響、” 平成 22 年第 6 回度情報処理学会東北支部研究会, B-1-5 (2011.3)

（7）穴沢直也、近藤和弘、柳生寛幸、神田敬幸、” 骨伝導ヘッドホンを用いた拡張現実感の音声了解度評価”、H23 東北地区若手研究者発表会、YS-9-D9 (2011.3)

（8）小林洋介, 近藤和弘, "仮想 3 次元空間における音声了解度推定の検討" , 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会, 3-Q-1 (2010.9)

（9）齋藤直, 近藤和弘, 小坂哲夫, "頭部運動が音声了解度へ及ぼす影響" , 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会, 1-10-10 (2010.9)

（１０）神田敬幸、小林洋介、近藤和弘、柳生寛幸、“空気伝導と骨伝導ヘッドホンを用いた空間定位音声了解度の比較”、平成 22 年度電気関係学会東北支部連合大会、2F06 、p.200 (2010.8)

（１１）小林洋介, 近藤和弘, 中川清司, “ステレオ符号化が仮想 3 次元空間音声の音声了解度へ与える影響” 信学技報, vol. 110, no. 71, EA2010-23, pp. 7-12 (2010.6)

共同プロジェクト研究

採択回数 | 1 | (2) | 3

採択番号　Ｈ２１／Ａ１１

視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究

［1］組織

代表者：塩入　諭

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

石井雅博（富山大学）

一川　誠（千葉大学）

宇賀貴紀（順天堂大学）

内川惠二(東京工業大学)

大澤五住(大阪大学)

小川　正(京都大学)

川上　進(東北大学)

北岡明佳(立命館大)

行場次郎(東北大学)

河原純一郎（産業技術総合研究所）

佐藤俊二（電気通信大学）

酒井　宏(筑波大学)

西田眞也（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）

村上郁也（東京大学）

栗木一郎（東北大学）

松宮一道（東北大学）

研究費：物件費 22 万 5 千円，旅費 28 万 2 千円

［2］研究経過

人間生活にとって，感覚，知覚，認識機能は生物学的意味でも，社会学的意味でももっとも重要な機能のひとつである。しかしその研究は，多種の分野にまたがり，成果も断片的，限局的なものが多い．本プロジェクトでは，視覚研究に注目し，分散した多くの知見を総合し，モデル化を実現するための協調的システムの実現を目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が２年目であり，先立これに先立つプロジェクト「視覚情報の脳内表現に関する研究」で得られた知見に基づいている。そのプロジェクトでは，脳内の視覚情報処理機構の理解には，視覚のモデル化が重要であり，特に共通基盤として利用できるモデル構築の必要性が認識された．昨年度の一般性，汎用性，および公開性の高いモデル構築に関する議論に基づき、視覚モデル構築環境のプロトタイプを作成した。

平成22年8月2ー8月3日

2010年日本視覚学会夏季大会にて研究打ち合わせ
研究代表者，塩入および分担者西田、一川が，研究テーマとその進め方について意見交換，議論した。

平成22年11月5日，6日

研究打ち合わせ
研究分担者，酒井，河原、佐藤、石井，宇賀，川上が来所し，また西田と一川はインターネットを介して、運動視，面の知覚，視覚的注意，受容野の理解，刺激への応答，判断の神経機構など視覚機能，視覚実験の各レベルの処理，および共通モデルを構築する環境プロトコルについて意見交換した。

平成22年1月19日ー1月21日

20101年日本視覚学会冬季大会にて研究打ち合わせ
研究代表者，塩入および分担者内川が共通モデルのプラットフォームについて議論した．

平成21年3月1日

研究打ち合わせ
研究分担者，河原が来所し，注意の瞬き処理のモデルについての意見交換，モデル化に関する議論を行った．

平成22年4月x日，4月x日，4月x日，4月x日，4月x日，4月x日，4月x日，4月x日，

インターネット研究会
多くの視覚研究者の間の情報交換を通して，共通モデル構築のための知見を集めるために，web を利用した研究会を定期的に行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，視覚モデル構築環境のプロトコル作りと、それに対する評価、および視覚処理の階層的構

造の理解のために，初期視覚の諸特性の研究，注意処理の研究，判断の神経基盤の研究など，異なるレベルの処理の中からいくつかのトピックについて，最近の研究を中心に議論した．以下に検討内容を示す．

視覚モデルとしての視覚注意モデルの検討，汎用性の高い環境として，データフロープログラミンを利用したプロトコルを開発した。環境としてはOpenCVベースでPythonを利用したプログラムである。視覚モデルに整合的であることが重要であるため、入出力が画像となっていて、処理と処理の間は、画像情報をやりとりする形式である。処理結果の表示はRGBの三原色によって色画像を扱うが、モノクロ画像の表示形式も可能である。以下に利用方法の概略を説明する（図１参照)。

1．画像入力指定の処理ユニットを選択し、制御画面に示す。
2．画像入力ユニットを用いて入力ファイルを指定する。
3．意図する処理ユニットを選択する。
4．入力ユニットと選択した処理ユニットを接続する。
5．必要な処理ユニットを選択し、必要な接続をする。
6．表示ユニットを選択し、処理結果と接続する。
7．結果を確認する。

以上が基本的な操作であるが、入力はビデオカメラを選ぶことができ、処理時間の制約内でリアルタイム処理が可能である。ここではすでにできあがった処理ユニットのみを利用する環境について説明したが、処理ユニットは自作して追加することができる。この追加機能の利用と共有が本研究の目標に大きく関連する。次年度においては、実際に利用しその評価を試みる予定である。

このモデル利用に関連する視覚処理の知見としていくつかの研究について議論した。酒井らは，奥行手掛かりの中で、視覚の基礎的な処理である明暗情報によるにもかかわらず、十分な検討がなされていない陰影とハイライトの基本特性について検討した。彼らは、両者が整合的である条件、不整合である条件の組み合わせに対する奥行知覚を測定し、陰影とハイライトの非対称な効果を明らかにした。視覚モデルに陰影やハイライトを含め、そこから知覚される奥行を予測することを考えると、示唆に富む実験結果である。河原らは、注意の捕獲現象と注意の瞬き現象を比較して、その共通性について検討した。両者とも注意状態に依存した視覚課題の遂行能力低下を引き起こすが、その程度の被験者による差には相関がみられない。したがって、共通の注意メカニズムが関与している可能性は否定され、異なる要因による説明が必要であることを意味する。視覚的注意のモデル化は近年進歩しているが、また石井らは、ターゲットへのサッカード眼球運動を要求するとき、

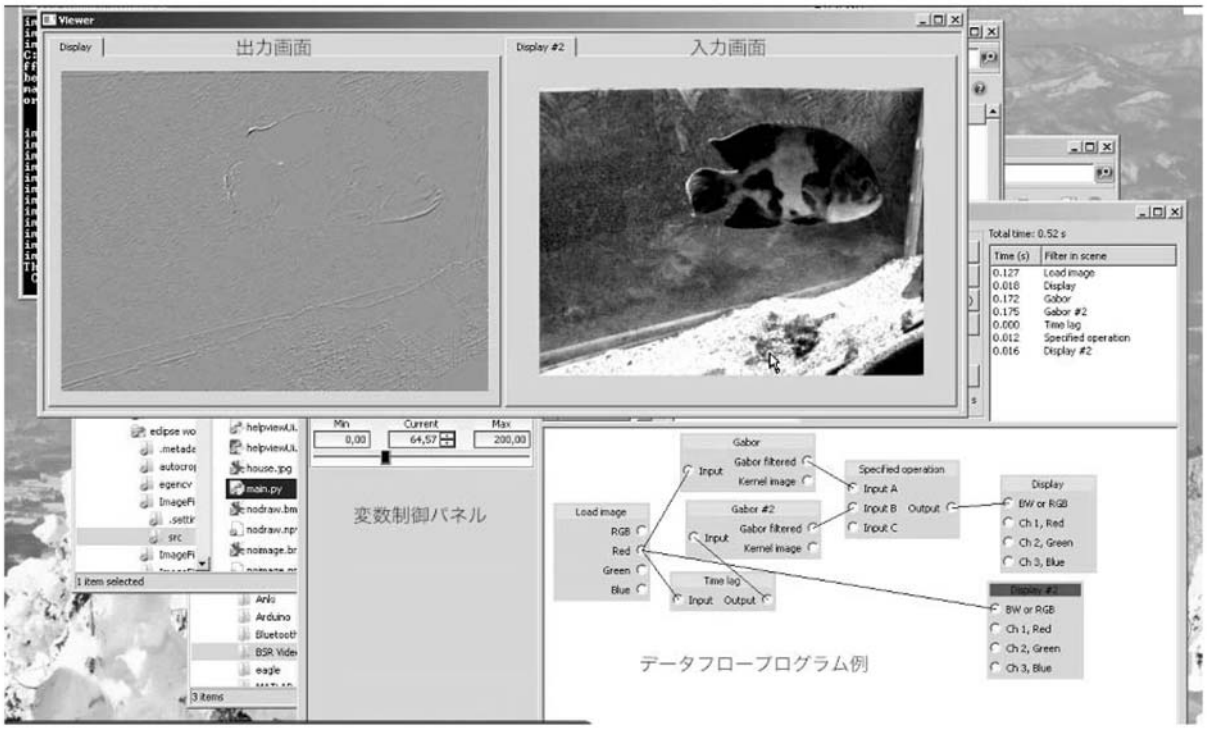


図１　視覚モデル構築環境プロトコル

複数の刺激がある場合に潜時が長くなることを示した。これの現象も刺激依存の注意の分割と意識的な注意制御という複数の注意過程に関連するもので、視覚的注意のモデル化における問題点を明らかにした。これらの結果を定式化することは難しいが、モデル化には多くの試行錯誤が有効であると考えられる。視覚モデル構築環境の実現は試行錯誤に対する有効性が高いと考えられるので、その開発にはこの点を考慮する必要がある。佐藤らは、第１次視覚野の神経細胞のモデルを構築し、そのコントラストの高低に依存して時間特性が変化することを示した。このモデルは信号の時間加算特性のダイナミックな変化の重要性を指摘するものであるといえ、視覚モデルにおける動的特性の重要性を示す。これによって、モデルにおいて刺激の時間変化と処理時間を考慮することの重要性が理解された。

（３－２）波及効果と発展性など

本年度の研究から，共通基盤としての視覚モデル構築にあったてのさらなる問題点を把握できた．昨年度までの確認事項としてカバーすべき範囲は，初期，中期視覚処理過程で，応答の判断や課題の理解には関連しない領域，また個人差の影響が比較的小さい機能を想定することが重要であることがあった．本年度の検討から、簡単でわかりやすい試行錯誤が可能であること、動的処理にも十分な対応が可能であることが要求されることを認識した。

本研究の目的は，新規な分野に挑戦することではなく，既存の分野の知見を十分利用できるようにするためのシステムを構築することにある．それが実点すれば，基礎研究のみならず映像評価など画像工学一般に大きく貢献できる．その実現のためには，プロジェクトの構成員に限らずより広く，多くの研究者による議論を活性化する必要がある．今後さらにインターネットによる研究会などを通して，共通視覚モデルの構築に必要な情報や利用方法などについて検討を続ける予定である．本研究活動はその結果のみならず，過程において研究者ネットワークの拡大，若手研究者の育成，他分野への応用的展開など多くの発展が期待できる．

［４］成果資料

本プロジェクトは、研究環境の構築を目指すもので、短期的に公表する研究成果はない．

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　Ｈ２１／Ａ１２

シナリオ・ツー・アニメ技術に関する研究

［1］組織

代表者：青木　輝勝(東北大学未来科学技術共同研究センター)
対応者：青木　輝勝(東北大学未来科学技術共同研究センター)
分担者：
安田　浩（東京電機大学未来科学部)
工藤　浩輔（東京電機大学未来科学部)
佐藤　薫生（㈱ビッグタウンズ)
坂本　琢也（㈱ビッグタウンズ)
井上　雅春（㈱ビッグタウンズ)
能代　明子（㈱ビッグタウンズ)

研究費：旅費１１万３千円

［2］研究経過

本共同研究では，研究代表者らが研究開発中のSTA(Scenario To Anime)システムであるDMD2.0（Digital Movie Director）のサーバクライアント化を実現するとともに、このシステムを基盤とした複数ユーザによる共創制作実験を通じて、ネットワーク上の共創効果について検討することを目的とする。

以上の大テーマに対し、本年度は簡易キャラクター自動生成を目指した技術の研究開発に取り組み、具体的にはユーザが簡易に作成したキャラクターに対し、自動的にスケルトンを生成し、DMD2.0上で動作させるための技術開発について検討を行った。

このための研究打合せを年６回実施した。

以下，研究活動状況の概要を記す.

第１回研究打ち合わせ（6月４日）
本年度のテーマ詳細に関する意見交換
第２回研究打ち合わせ（8月４日～8月５日）
既存スケルトン生成方式の調査(1/2)
第３回研究打ち合わせ（8月10日）
既存スケルトン生成方式の調査(2/2)
第４回研究打ち合わせ（9月17日～9月18日）
提案方式に対する意見交換(1/2)
第５回研究打ち合わせ(12月22日～12月23日)
提案方式に対する意見交換(2/2)
第６回研究打ち合わせ（1月20日）
提案方式の実装方法ならびに評価手法に関する意見交換

［3］成果

（３－１）研究成果

(1)スケルトン生成に関する既存技術

従来のスケルトン生成は、骨の概型を求める手法が主流であり、関節の数や階層構造についてはあまり注目されていなかった。それゆえに、スケルトンシステムを用いてアニメーションに使用することは一般に不可能である。加えて、階層構造の生成には知識と手間を要する。また、既存の動きデータは膨大な数があるが、関節を保持しないスケルトンでは利用することができない。

本共同研究にて提案する手法では、あらかじめ用意した教師データを用い、最も類似した教師データから関節位置を推定し、その関節を直線でつなぐことにより3Dモデルの形状に関わらずスケルトンを入れる手法を提案する。従来のスケルトン生成手法は、モデルの形状から曲率などの変化量にしたがって領域分割し、領域の境界に関節を入れる手法が最もアニメーションに適したスケルトン生成手法であった。一方、本提案手法では、モデルの形状に依存せず、関節位置を高精度に推定することを可能にすることで、モデルの独自性に依存せずにスケルトンを生成する。

本提案手法は、関節が入る位置のモデル形状に凹面などの特徴が無いようなローポリゴンモデルでも、関節位置を予測し、指定することができることが特徴のひとつである。これにより、即座にアニメーションを作成することが可能なスケルトンを導出することができる。また、教師データに詳しい関節情報（必要な数・階層）を指定しておけば、入力モデルに、それらの情報を反映されることも可能になる。さらに、外部で制作された動きデータを使用することが可能である。動きデータはモーションキャプチ

ャなどで制作された情報が数多く公開されている。それらを利用、編集することにより、アニメーションをより簡単に、高精度に制作することが可能となる。

なお、本提案手法では、前提条件として最低限頭、胴体、手２本、足２本を有し、３次元にモデリングされたキャラクターモデルを対象とする。

⑵提案手法概要

本提案手法では、以下の手順でスケルトンを生成する。

１）あらかじめ、１つの 3D モデル（教師モデル）に幾つかのポーズをさせ、各ポーズについて、関節位置を中心とした頂点ガウス球を作成し、これを教師データとする。
２）骨格構造が未知の入力モデルに関して、中心を少しずつずらしたガウス球を作成する。
３）ガウス球とすべての教師データを比較し、その誤差が閾値以下である場合、そのガウス球と教師データのガウス球は類似と判断する。
４）類似と判断されたら、入力モデルのガウス球の中心を、類似する教師データの関節と同じ関節とする。
５）これを繰り返し、入力モデルの全ての関節位置を導出する。
６）隣接する関節間を直線でつなぎ、スケルトンとする。

以上の手順によって、スケルトン生成を自動化し、モデリングと動作生成の間のユーザの作業を最小化することが可能となる。

入力モデルはあらゆる 3D モデルの中間フォーマットである obj ファイル形式を想定する。このフォーマットは、頂点座標情報・頂点法線情報・面を構成する頂点とその法線の情報を保持している。本手法では、頂点情報を利用して頂点の情報を導出し、頂点の方向をガウス球上にプロットさせる。

モデルから生成された１次元のスケルトン同士を比較する従来技術は多く存在する。それに対して、本提案手法では、ガウス球を使用することによって、教師データとモデルデータを、3D モデルのままの状態で比較することが可能となる。元来 3D モデル同士をそのまま形状比較するのは非常に困難だが、ガウス球を用いて方向分布を指標にすることによって、統一表現的に 3D モデル同士の類似度を比較することができるようになる。

3D モデルの関節位置を導出するために用いられるガウス球の求められる条件として、⑴モデルの姿勢の判別が可能であること、⑵モデルの形状には依存しないこと、さらに、⑶情報の損失が少ないこと、が挙げられる。本提案手法では、この条件を満たすガウス球として、各関節位置からのモデルの全ての頂点の方向をガウス球へプロットし、それを比較する手法をとる。

入力されるモデルが持つ情報から、頂点ガウス球・稜線ガウス球・法線ガウス球を制作することが可能である。しかし、稜線ガウス球・法線ガウス球は、いわゆる統計データであり、モデルの表面情報を表している。したがって、形状に大きく依存するものと予測される。加えて、稜線・法線は基準点が一意でないため、頑強性の問題が生じる。一方頂点ガウス球は、モデルから距離情報を捨てた情報であるため、モデルの形状を捨てて姿勢のみに依存することが予測される。また、基準点は任意の一点に決まっているので、モデルの状態に依存せず、稜線・法線ガウス球よりも頑強性の面で強力であると考えられる。例えば、ポリゴンリダクションの処理を行った場合、稜線ガウス球・法線ガウス球の分布は変化する。それに対して、頂点ガウス球の分布の概形は変化しない。

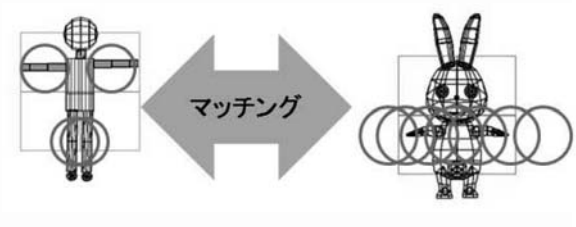


図１　頂点ガウス球のスケルトンマッチング

⑶頂点ガウス球の性質

頂点ガウス球は、ある点から各頂点への方向をガウス球上にプロットする。したがって、ガウス球の中心となる基準点をどこに指定するかで、生成されるガウス球が異なる。この性質を利用して、本提案手法では複数のガウス球を生成することで関節位置を導出する。頂点ガウス球上の点の分布は、モデルの形状よりも姿勢に強く依存するので、同一姿勢・同一関節を中心とする頂点ガウス球は類似する。
また、頂点ガウス球の持つもう一つの特徴として、頂点ガウス球の中心を内包する部位は、頂点ガウス球にプロットした場合、姿勢の変化が顕著に表現されることが挙げられる。したがって、教師データの関節を中心に頂点ガウス球を制作することで、姿勢を敏感に察知することが可能となる。

加えて、頂点ガウス球は、中心がモデルに内包される場合と外部にある場合で、ガウス球の分布が大きく異なる。内包される場合は、点がガウス球の全域に分布し、外部にある場合は点がガウス球の一領域のみに集中してプロットされる。したがって、教師データの関節を中心とした頂点ガウス球と比較することにより、入力モデルの関節はほぼ確実にモデルの内部に位置する。

ガウス球同士の比較は、ガウス球をいくつかの領域に分割し、領域ごとに誤差を取り、その総和が閾値よりも小さければ、類似したガウス球とみなすことで行う。モデルデータごとに頂点の数が違うことから、ガウス球にプロットされる点の数は異なる。それゆえ、比較の指標には点の割合を使う。すなわち。領域内の点をガウス球上の全点で割ったものを、教師データと比較し、誤差を求める。

⑷提案手法の評価

本提案手法の評価のために、以下の実験を行った。

A）頂点ガウス球が姿勢を強く示すことの実証

B）関節位置導出が可能であることの実証

C）頂点ガウス球が姿勢を強く示すことの実証

入力モデルは、obj ファイル形式の、最低限　頭・胴体・手・足で構成されたモデル 20 体、30 姿勢を使用して検証した。

実験 A は、モデル 4 体に対し 5 姿勢について頂点ガウス球、稜線ガウス球のそれぞれに対し、ガウス球の分布結果を主成分分析することにより行った。この結果、頂点ガウス球では同じ姿勢の第一主成分はほぼ同じ値を取ることがわかった。一方同じモデルごとに数値の変化がないことがうかがえる。したがって、頂点ガウス球に最も影響を与える要因はモデルの姿勢であり、モデル形状は頂点ガウス球に影響を与えないことがわかる。

また、頂点ガウス球の第一主成分について、特に姿勢 5 が他の姿勢と比較して差が顕著であることが読み取れる。姿勢 5 は胴体部分が変化している姿勢である。元姿勢よりも変化している角度や頂点数は、姿勢 3 の方が大きいが、数値だけみると姿勢 5 の方が明らかに頂点ガウス球に影響を及ぼしていることが分かる。その理由は、胴体の中に質量中心がある。つまり頂点ガウス球の中心がある部位が変化していることに起因していると考えられる。したがって、特定の部位の変化情報を多く得るためには、その部位の内部に頂点ガウス球の中心をとればよいと言える。

実験 B は、x 軸に沿ってガウス球の頂点を少しずつずらし、前後でのガウス球の誤差を調べたところ、誤差は、頂点ガウス球の中心がモデルに入る点・モデルから出る点で最大となった。この結果から、頂点ガウス球の中心がモデルの外側と内側にある場合でガウス球の誤差が大きく変化することが実証された。

実験 C は、30 姿勢、19 関節位置について教師モデルと 20 種類のモデルで誤差の検証を行った。結果、同一姿勢・同一関節で誤差最小になったのは 70%ほどの正答率であった。また、同一姿勢のみで判断した場合は、100%誤差最小になった。この結果から、提案手法が関節位置推定に有用であることが実証された。

（３－２）波及効果と発展性など

本年度は、人型モデルに対して自動的にスケルトンを生成する手法を提案した。本提案手法により、主要な作業の手間が省かれるため、初心者やアマチュアユーザでもより容易で短時間に 3 次元コンピュータグラフィックスによるアニメーションが制作できると考えられる。また、既存手法では導出出来ないような、凹凸のない形状のモデルでも関節位置を推定することができた。

今後は、より多くの形態のキャラクタ、より複雑な姿勢にも対応すべく生成結果や精度の検討を行いたいと考える。また、人体に不自然なエラーが発生した場合に、その補正をし、ユーザの負担を減少させるシステムが必要となる。また、さらに，将来的にはスキニングの自動化 により、モデリングとアニメーション間が完全に自動化されることを想定している。

［４］成果資料

（１）青木輝勝、安田浩、"ツリー型 CGM 制作における共創効果の一検討", 情報処理学会論文誌 vol.52, no.1, pp.109-120, Jan., 2011.

（２）今野瞳、青木輝勝、"ガウス球ベース関節位置推定に基づく 高精度スケルトン生成手法", 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, Mar., 2011.

（３）Terumasa AOKI and Hitomi KONNO, “Guass-sphere based Skeletonization Method for 3DCG Animation”, IEEE Trans. on Graphics (submitted).

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ａ１３

採択回数	1	②	3

センサークラウドによる持続性のある情報化社会基盤の構築に関する研究

［1］組織

代表者：高橋 修
（はこだて未来大学システム情報科学部）
対応者：菅沼拓夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石川 博（静岡大学情報学部）
石原 進（静岡大学大学院創造科学技術研究部）
岡田 謙一（慶應義塾大学理工学部）
片岡 信弘（東海大学電子情報学部）
小泉 寿男（東京電機大学理工学部）
佐藤 文明（東邦大学理学部）
柴田 義孝（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
鈴木 健二（電気通信大学電気通信学部）
滝沢 誠（東京電機大学理工学部）
塚本 昌彦（神戸大学工学部）
富樫 敦（宮城大学事業構想学部）
檜垣 博章（東京電機大学理工学部）
東野 輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科）
福田 晃（九州大学大学院システム情報科学研究院）
水野 忠則（静岡大学大学院創造科学技術研究部）
宮西 洋太郎：宮城大学事業構想学部
宗森 純（和歌山大学システム工学部）
村山 優子（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
渡辺 尚（静岡大学大学院創造科学技術研究部）

研究費：物件費 27.2 万円，旅費 66.1 万円

［2］研究経過

近年，無線ネットワーク技術や小型センサー機器の開発により，センサーネットワークが実用化されるに至っている．しかし，現在のセンサーネットワークは食品のトレーサビリティアプリケーションや，気象情報収集アプリケーションなど，特定のアプリケーション毎に個別に管理された垂直統合システムでしかない．

一方で，ネットワーク上のサーバに処理を分担させる様々なアーキテクチャが提案され実現されてきている．また，仮想化やグリッドコンピューティングなどの技術が実用化され，その技術が組み合われて，クラウドコンピューティングという考え方が提唱されるようになってきた．クラウドコンピューティングでは，ユーザは目の前のサーバを利用するのではなく，インターネットの先にある各種のサーバを実現方法や提供場所などの物理的な環境に依存することなく利用できるようになる．

この研究では，異なるセンサーネットワークから得られるセンサー情報を収集し，蓄積統合し，分析し，利用者に適切に通知するサービスをインターネット上で提供するセンサークラウドという情報化社会基盤の構築を目指す．このシステムが構築されることで，例えば電力会社では気象情報と家庭の太陽電池パネルからの発電量との情報を統合して，発電所での適切な発電量制御が可能になる．

本年度は，このプロジェクトの二年目である．本年度の目標は，センサークラウドで構築すべきセンサー情報の処理技術とその技術を使った応用システムの構築にある．センサー情報の処理技術として重要なものの一つには，セキュアな情報の蓄積収集技術があり，今年度はヒステリシス署名を応用した情報管理技術が研究開発された．また，位置情報は GPS や電波強度などのセンサーを使って取得できる代表的な情報であるが，位置情報を連続的に取得することで周辺地図を動的に作成する技術が開発された．その技術は，電子トリアージシステムに応用されている．また，端末の処理性能や負荷の状況をセンスすることでエネルギー効率の良い負荷分散が可能なアルゴリズムが研究開発された．

以下，研究活動状況を記す．

研究推進会議を 1 回開催し，最新の研究成果を持ち寄り，議論を重ねた．開催日程および概要は以下の通りである．

＜研究推進会議＞

日時：平成 21 年 12 月 17 日～12 月 18 日
場所：東北大学電気通信研究所
A．講演と報告
(1)「絵文字チャットコミュニケーション」宗森 純（和歌山大学）
(2)「モバイル型香りディスプレイの開発」岡田 謙一（慶應義塾大学）
(3)「ウェアラブル・ユビキタスコンピューティングの健康，エコ，エンターテイメント応用」塚本昌彦（神戸大学）
(4)「多数端末時代の無線ネットワークインフ

ラ」渡辺　尚（静岡大学）
(5)「信学会 SWIM 研究会クラウドコンピューティングトライアルプロジェクト概要」宮西洋太郎（宮城大学）
(6)「P2P 型情報検索方式の研究」佐藤文明（東邦大学）
(7)「組込みシステムの地域連携コミュニティ形成と活動」福田　晃（九州大学）
(8)「コンシューマサービス」水野忠則（静岡大学）
(9)「災害情報ネットワーク」柴田義孝（岩手県立大学）
(10)「安心とトラストの研究報告」村山優子（岩手県立大学）
(11)「携帯電話のセキュリティ対策」高橋　修（はこだて未来大学）
(12)「情報系熟達技術者の学位取得を目指した研究テーマ抽出とジャーナル論文作成支援の試み」小泉寿男（東京電機大学）
(13)「栗原グリーンプロジェクト―人の暮らしと自然の共生へ向けて―」白鳥則郎（東北大学）
(14)「Energy-efficient Scalable Distributed Systems」滝沢　誠（東京電機大学）
(15)「ソーシャル・センサマイニングと大規模可視化」石川　博（静岡大学）
(16)「センサーネットワークの救急医療応用について」東野輝夫（大阪大学）
(17)「ICT 利活用事例：農業・医療分野への適用　～地域医療連携パス構築とユビキタス農業の推進～」富樫　敦（宮城大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た.

（1）電子トリアージ用シミュレータの開発

トリアージとは，災害時の救急救命医療において用いられる，救命可能者の選別や治療順位を決定する作業である．既に昨年度の研究成果として，電子トリアージ用の端末の開発と評価を実施したが，今年度の成果としては電子トリアージシステムの訓練用のシミュレータの開発を行った．電子トリアージシステムでは，数十人から数百人規模の傷病者が短時間に同時に発生するような状況を想定して，センシング技術を用いたシステムの開発を目指すものである．傷病者にバイタル・センサを装着し，得られたセンシング情報を無線アドホック・ネットワークを介して収集する．また，複数の消防・医療関係者に傷病者の位置や病状の変化をリアルタイムに提示し，災害現場の地図をできるだけ簡便な方法で作成し，その上に傷病者の分布や重症者の位置を提示するシステムを構築した．今年度の成果は，その上での電子トリアージシステムの訓練のためのシミュレータを開発したことである．電子トリアージ用シミュレータによって，電子トリアージの訓練を実施するとともに，定量的な評価を行うことができる．このシミュレータを使って，順天堂大学付属浦安病院での救急外来での患者数，症例数を基に外来での急変数を比較して，電子トリアージを導入した場合の評価を行った．その結果，待合室での急変数を減少できることを示した.

（2）エネルギー効率の良い負荷分散アルゴリズムの開発

センサーネットワークでは，電力効率のよいシステムを構築する必要がある．電力効率を上げるためには，適切に計算負荷を計算ノードに分散させることになる．典型的な負荷分散方式にはラウンドロビン方式があるが，十分な性能を引き出せていない．本研究では，機種毎の CPU 性能の違いや複数プロセスを動作させたときの性能低下率を考慮するための，正規化された計算量という値を求めて，適切なサーバに適切な量の計算を配分するアルゴリズムを提案した．また，同様にネットワークの送信効率と消費電力との関係性を求めた後，通信負荷を適切な通信ノードに配分するアルゴリズムを提案した．これらのアルゴリズムを従来のラウンドロビンと性能を比較評価した．その結果，ラウンドロビンの５割程度の消費電力を削減することができた.

（3）無線ネットワークの新たなコンセプトの提案

今後，センサーネットワークや携帯端末の増加にともない，無線通信における利用効率を格段に向上させる必要がある．従来，周波数効率，時間効率の向上についての研究が行われてきたが，今後指向性アンテナや電波の伝搬距離を動的に変更することによる空間効率の向上を目指すことが鍵となる.既に，指向性アンテナを使った MAC 層の研究やルーティングの研究を行ってきているが，今後はこれらの時間，周波数，空間の３要素を組み合わせることで，その場所と時間に応じた最適な効率が発揮できる通信方式を選択するアルゴリズムを開発する必要がある．このアルゴリズムは，物理層や MAC 層といった下位層の機能だけで実現するものではなく，画像処理による周囲の状況の変化の検出や，電波以外の通信メディア（光や音）との組み合わせによって実現することになる.

（4）携帯端末におけるヒステリシス署名を使った証拠保全手法

携帯端末における情報の保全は，携帯端末を各種の入力端末またはセンサの取得端末と考えるとこれから非常に重要な技術となる．利用者の操作履歴情報や位置情報，センシングした情報などが利用者や他人によって改竄されてしまうと，センサ情報に基

づくアプリケーションに信頼性が失われてしまう．情報の証拠保全方法は従来から提案されているが，携帯端末に適用する場合，携帯の計算資源の少なさから情報の取りこぼし，検知遅れ，性能低下，システムの停止，信頼性などの問題があった．本研究では，定期的に情報を収集することで収集漏れをなくし，ヒステリシス署名という方法を用いて信頼性を確保し，情報の優先度に応じて保存のタイミングを最適化することによってシステム停止することなく証拠保全が可能な方式を提案している．
提案方式は，携帯端末向けに研究されている既存の方式との定性的な比較によって，端末の性能低下が無い点，特殊な機器が必要がない点，システム停止が不要である点において優れている．また，実際の情報収集時の性能評価によって，CPU 負荷やメモリ負荷が小さく実用上問題がないことを明らかにしている．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトメンバーが中核となる新しい国際学会が昨年度より設立され，白鳥，東野，岡田，水野，宗森らによる国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics)2010 を英国エジンバラ British Royal Hotel で開催した．本国際会議において，本プロジェクトに関わる無線ネットワークやセキュリティに関する研究成果が報告された．また，この国際会議をもとにした新しい論文誌 International Journal of Informatics Society が発刊された．

本プロジェクトで明らかになったセンサークラウドの基盤技術や応用技術は，日常生活や社会活動を支える共通基盤として必須のものとなると考えられ，情報化社会を支えるシステムとソフトウェアの進展に寄与するものとなる．また，大量のセンサーノード間の通信や，エネルギー効率の良い情報収集技術，情報の信頼性を保証する基本的な技術としてセンサーノード以外の分散システムにも広く展開できる．

［4］成果資料

(1) 西濱大貴，堀内陽介，井上智雄，岡田謙一，“DiamondTheater：演劇創作活動を支援する劇場再現空間”，情報処理学会論文誌，Vol. 51，No. 12，pp. 2396-2408，2010.
(2) Hiroshi Sakuma，Fumiaki Sato：″Evaluation of the Structured Bloom Filters Based on Similarity″，IEEE AINA 2011，(2011.3).
(3) 吉田利夫，松本真英，清尾克彦，茅野眞一郎，杉野栄一，澤本　潤，小泉寿男：組込みソフトウェア技術者育成のためのリアルタイムカーネル実装教育実習プリグラムとその評価，電気学会論文誌 C，Vol. 131，No. 2，pp. 468-479 (2011).
(4) 原田直弥，田頭茂明，荒川豊，北須賀輝明，福田晃：無線 LAN 環境における主成分分析を用いたハイブリッド位置推定手法，電子情報通信学会論文誌，VOL. J93-D No. 10，pp. 1867-1884 (2010).
(5) 藤原康宏，村山優子：コンピュータ利用時の不快感を利用した警告インタフェースの提案，情報処理学会論文 誌，Vol. 52，No. 1，pp. 77-89 (2011).
(6) 林　彰浩，片岡信弘，木野泰伸，津田和彦：レビュープロセスの継続的改善方式品質管理学会　「品質」　Vol. 4，No3，　pp. 71-80 (2010).
(7) 香川健太郎，伊藤淳子，宗森　純：動画共有システムに与える直感的絵文字コメント投稿機能と感情共有機能の効果，情報処理学会論文誌，Vol. 51，No. 3，pp.　770-783 (2010-03).
(8) Tomoya Enokido，Ailixier Aikebaier，and Makoto Takizawa，A MODEL FOR REDUCING POWER CONSUMPTION IN P2P SYSTEMS，IEEE SYSTEMS JOURNAL，VOL. 4，NO. 2，pp. 221-229，JUNE 2010.
(9) Noriki Uchida，Kazuo Takahata and Yoshitaka Shibata，“Transmission control methods with multihopped environments in cognitive wireless networks”，Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing，Springer-Verlag 2010，10. 1007/s12652-010-0025-z，2010.
(10) 森信一郎，奥山鏡子，峰野博史，水野忠則：地磁気センサを使った高精度測位技術，電子情報通信学会論文誌，Vol. J93-D，No. 10，pp. 1894-1902 (2010. 10).
(11) Takashi Mishina，Yoh Shiraishi，and Osamu Takahashi，Evidence Analysis Method Using Bloom Filter for MANET Forensics，Lecture Notes in Computer Science，Volume 6278/2010，pp. 493-500，2010.
(12) Takahiro Fujiwara，Takashi Watanabe，Bidirectional Communications for Damage Monitoring Using Sensor Networks in Emergency Conditions，IEEE The International Workshop on Ubiquitous and Mobile Computing (UMC 2010)，CD-ROM，2010. 06.
(13) 横山昌平，石川博.：Web ブラウザによる超高解像度可視化基盤の開発. 情報処理学会論文誌，Vol. 52 No. 1 pp. 56-67 (2011).
(14) Junichiro Okamoto，Susumu Ishihara，″Distributing Location-Dependent Data in VANETs by Guiding Data Traffic to High Vehicle Density Areas，″ in proc. of 2nd IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2010)，pp. 189-196 (2010-12-14，Jersey City，U. S. A.).
(15) 南本真一、藤井彩恵、山口弘純、東野輝夫: "移動無線端末の位置情報と通信情報を用いた災害現場地図の自動生成" 情報処理学会論文誌，Vol. 51，No. 12，pp. 2169-2183 (Dec. 2010). 情報処理学会創立 50 周年記念論文賞受賞
(16) 瀬川典久，浅川和久，高橋佳嗣，山田智子，富樫敦，澤本潤：”脈波計測ノードを利用した M2M センサネットワークシステムの開発”，電学論 C，130 巻，11 号，pp.　1922-1929，2010.

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０１

グラフェンを利用したテラヘルツ帯光電子デバイスに関する研究

［1］組織

代表者：RYZHII Victor
（会津大学コンピュータ理工学部）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
RYZHII Maxim
（会津大学コンピュータ理工学部）
RYABOVA Nadezhda
（会津大学コンピュータ理工学部）

研究費：消耗品費 30 万円，旅費 35 万円

［2］研究経過

光波と電波の融合するテラヘルツ帯は，最後の未開拓領域であり，超高速無線ＬＡＮや，光通信と無線通信のシームレスなリンクなど，ＩＣＴ技術の飛躍的な向上につながる大きな可能性を秘めている。そのような背景の下で，テラヘルツ帯デバイスの研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトは，未開拓テラヘルツ帯の電気通信への応用を目的として，グラフェンを利用したテラヘルツ帯電子・光電子デバイスの創出を目的として研究を行なう。具体的には，グラフェン，グラフェンナノリボン，多層エピタキシャルグラフェン，電気制御 p–i–n 接合などの構造における物理現象のモデリング，理論解析，数値解析を行ない，テラヘルツ帯で動作する新型デバイス構造の提案，そして新型素子の設計試作へと発展させる。
本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。本年度は，グラフェンにおけるゼロバンドギャップ・線形エネルギー分散などの特異性を活用した電子・光電子デバイスに関する研究を展開した。具体的には、グラフェンナノリボンにおけるプラズモン分散の解明、電気制御型グラフェン p-i-n 接合を利用したトンネル走行時間ダイオードの提案ならびに性能の理論的評価、スロットライン・絶縁体導波路組み込み型の多層グラフェン・テラヘルツレーザーの提案ならびに性能の理論的評価、単層ならびに多層グラフェンを利用したバンド間遷移型テラヘルツ／赤外光検出器の提案ならびに性能の理論的評価を行なった。

以下，研究活動状況の概要を記す。

・研究討論会（平成２３年２月７日～８日）
RYZHII Victor，RYZHII Maxim，RYABOVA Nadezhda が通研に来所し，研究進捗状況の報告，結果についての議論，対外発表戦略についての議論を行なった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，グラフェンナノリボンにおけるテラヘルツプラズモンの特性，特に分散関係の角度依存性の解析を行なった（図1）[1]。

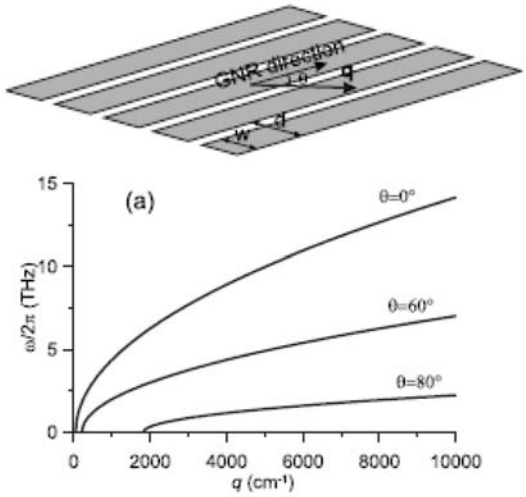


図1.（上段）グラフェンナノリボン構造の模式図、（下段）プラズモン周波数分散。

第2に、グラフェンにおける電気制御型 p-i-n 接合をベースとした新奇のテラヘルツ波源である、トンネル走行時間ダイオードの実現可能性の評価を行なった[2]（図2）。

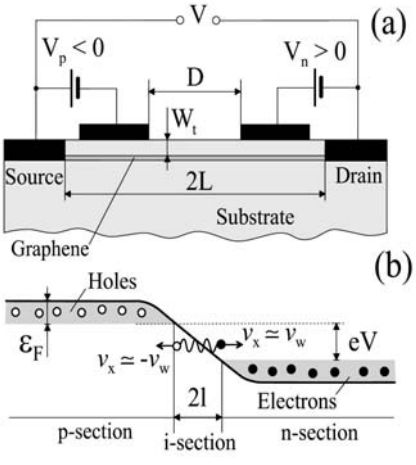


図2．グラフェン・トンネル走行時間ダイオードの模式図およびバンド構造。

第3に、スロットライン・絶縁体導波路組み込み型の多層グラフェン THz レーザーの提案ならびに評価を行なった（図3、4）。

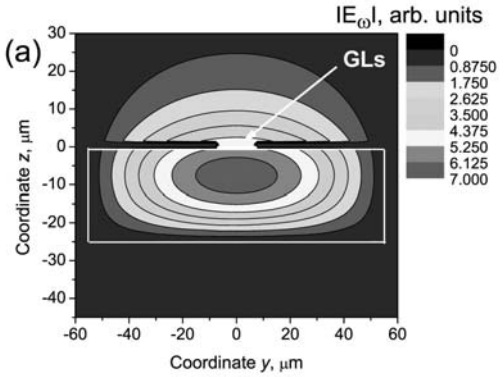


図3．スロットライン、組み込み型の多層グラフェン THz レーザーにおけるテラヘルツ電場の空間分布。

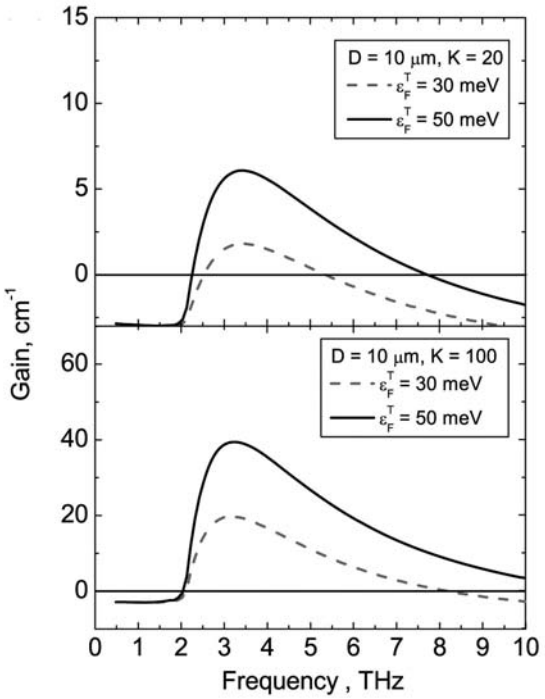


図4．グラフェンレーザーにおけるゲインの周波数、グラフェン層数、および励起強度依存性。

第4に、単層および多層グラフェン構造におけるバンド間遷移を利用したテラヘルツ／赤外光検出器を提案し、これらにおける光応答度および光検出度を導出した。結果として、これらの検出器が通常の量子井戸および量子ドット・サブバンド間遷移型光検出器の性能を凌駕しうることを見出した。

［4］成果資料

（4－1）学術論文

[1] V. V. Popov, T. Yu. Bagaeva, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Oblique terahertz plasmons in graphene nanoribbon arrays", Phys. Rev. B, vol. 81, pp. 073404 - 1-4, 2010.

[2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, M. S. Shur, and V. Mitin, "Negative terahertz dynamic conductivity in electrically induced lateral p-i-n junction in graphene," Physica E, vol. E42, pp. 719-721, 2010.

[3] V. Ryzhii, A. A. Dubinov, T. Otsuji, V. Mitin, and M. S. Shur, "Terahertz lasers based on optically pumped multiple graphene structures with slot-line and dielectric waveguides", J. Appl. Phys., vol.107, pp. 054505 - 1-5, 2010.

[4] V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, and T. Otsuji, "Terahertz and Infrared Photodetection using p-i-n Multiple-Graphene-Layer Structures", J. Appl. Phys. vol. 107, pp. 054512 -1-7, 2010

（4－2）学会発表

[1] V. Ryzhii, M. Ryzhii, N. Ryabova, T. Otsuji, V. Ya. Aleshkin, A. A. Dubinov, V. Mitin, and M. S. Shur, “Concepts of novel terahertz and mid-infrared photodetectors and lasers based on multiple-graphene layer structures,” XXI Int. Conf. on Phoroelectronics and Night Vision Devices, Moscow, Russia, May 25-28, 2010.

[2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. A. Dubinov , T. Otsuji, M. S. Shur, and V. Mitin, "Novel terahertz and infrared devices on multiple graphene structures: concepts and characteristics," VCIAN: Villa Conference on Interactions Among Nanostructures Abstracts, p. 31, Santorini, Greece, June 21-25, 2010.

[3] V. Ryzhii, M. Ryzhii, T. Otsuji, A. Satou, A. A. Dubinov, V. Mitin, and M. S. Shur, “Graphene terahertz lasers and photodetectors,” Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC’10), DC3-3, Toyama, Japan, Sept. 22-26, 2010

[4] V. Ryzhii, M. Ryzhii, N. Ryabova, V. Mitin, and T. Otsuji, “Terahertz and infrared detectors based on graphene structures,” Quantum Structure Infrared Photodetector Conference (QSIP2010), Istanbul, Turkey, Aug. 15-20, 2010.

共同プロジェクト研究

採択回数 ① 2 3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０２

ゲルマニウム系量子ドットの形成および価電子制御とナノスケール機能メモリ応用

［１］組織

代表者：宮崎　誠一
（名古屋大学大学院工学研究科）

対応者：室田 淳一
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
室田　淳一
(東北大学電気通信研究所)
櫻庭　政夫
(東北大学電気通信研究所)

研究費：　物件費 23 万円，旅費 42 万 5 千円

［２］研究経過

「だれもが安全に安心して使える先進的なグローバル・ユビキタス情報通信」の実現、すなわち情報通信技術の高度化には、情報処理デバイスのメインストリームであるシリコン系 MOS デバイスの高性能化・高機能化が必須課題となっている。

本共同プロジェクト研究では、シリコン系 MOS デバイスの機能レベルでの進化を目的として、IV 族半導体量子ドットで発現する特異性・機能性を活用した MOS デバイスの開発に向け、$Si_{1-x}Ge_x$ 系高移動度チャネルに適合した電荷蓄積ポテシャル井戸を実現し得る Ge 系量子ドットの高密度形成およびその価電子制御に取り組み、デバイスレベルでその有効性を検証することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、初年度であり、高移移動度 SiGe チャネルに適合する Ge 系量子ドットの形成技術確立に注力し研究に取り組んだ。具体的には、これまでの Si 量子ドットの自己組織化形成の実績を踏まえて、SiO_2 表面を希釈 HF 処理により OH 終端した後、GeH_4 ガスの LPCVD において、H_2 リモートプラズマから水素ラジカルを供給し、原料ガスの分解と初期核発生を促進することで、熱酸化 SiO_2 表面に面密度~$2\times10^{11}cm^{-2}$ で均一サイズ(半値幅~1.8nm)の Ge 量子ドットを形成できることを明らかにした。

以下、研究活動の状況の概要を記す。

本共同プロジェクト研究の推進するために、東北大学にて実験打ち合わせを２度実施し、共同研究分担体制を築くと共に、本プロジェクト対応者の室田淳一教授が中心的に組織・運営した 3 つの国際会議 5th Int. SiGe Technology and Device Meeting (May 24－26, Stockholm, Sweden)、ECS:4th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp.,(Oct. 10－15, Las Vegas, Nevada, USA)および Int. Conf. on Solid-State and Integrated Circuit Technology (Nov. 1－4, Shanghai, China)での成果発表や意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

［3］成果

（3－1）研究成果

・Si 熱酸化膜上への Ge 量子ドットの高密度形成

SiH_4 ガスの減圧(LP)CVD を用いて、シリコン酸化(SiO_2)膜上に Si 量子ドットを高密度（~$10^{11}cm^{-2}$）一括形成する際、前処理として希釈 HF 処理やリモート水素プラズマ処理を施して、OH 終端した酸化膜表面にすることが極めて有効であることが分かっている[1, 2]。 GeH_4 ガスの LPCVD では、上記の OH 終端した SiO_2 膜上においても、初期核生成が極端に低く、Ge 量子ドットの高密度形成の報告例はない。そこで、本研究では、GeH_4-LPCVD 表面へ、水素ラジカルを同時供給し、シリコン熱酸化膜上への Ge 量子ドットの高密度・一括形成を試みた。

p-Si(100)基板上に 1000˚C、2%O_2 で膜厚~4.2nm の SiO_2 を形成後、0.1%HF 処理により SiO_2 表面を OH 終端し、その後、He 希釈 5%GeH_4 による LPCVD を行った。このとき、100mmφの石英管に 1 ターンコイル状アンテナを配置したリモート型 ICP プラズマで 60MHz 高周波電力(100W)の誘導結合により励起・生成した高密度原子状水素を基板表面に照射した。ガス圧力は 0.4Torr で一定とし、基板温度および CVD 時間は、室温~300˚C、5~60sec で変化させた。

GeH_4-LPCVD(a)および H_2-RP 照射 GeH_4-LPCVD 後(b)の表面形状像を Fig. 1 に示す。GeH_4-LPCVD のみの場合、Ge 量子ドットの形成は認められず、平坦な Ge 膜(RMS :0.17nm)の形成が確認された。一方、GeH_4-LPCVD 時に H_2-RP 照射した場合は、面密度~$2\times10^{11}cm^{-2}$ の Ge 量子ドットの形成が認められた。表面形状像からドットの高さ分布を求めた結果、平均ドット高さおよび半値幅はそれぞれ~4nm、~1.8nm であった。また、基板温度が室温から 200˚C の範囲において、同条件で H_2-RP 照射 GeH_4-LPCVD した場合、CVD 後の表面ラフネスは CVD 前の SiO_2 と同程度(0.15nm)であり、Ge 膜が形成されていないことも XPS により確認している。さらに、基板温度 300˚C で H_2-RP 照射 GeH_4-LPCVD の堆積時間依存性を調べた結果(Fig. 2)、ドット密度は堆積時間 30sec で飽和傾向にあるが、平均ドット高さは堆積時間の増加に伴い増大する。Ge ドットの高密度形成は、(1)水素ラジカルの供給によって、GeH_4 分解が促進され、基板表面への反応前駆体の入射量が増大したこと、(2)OH 終端表面への水素ラジカル入射によって脱水反応が進行し、核発生サイトとなる Si ダングリングボンドの生成が促進したことに起因していると理解できる。

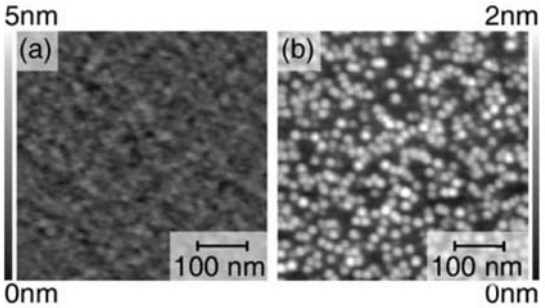


Fig. 1 GeH_4-LPCVD(a) および H_2-RP 照射 GeH_4-LPCVD 後(b)の表面形状像. 基板温度、全ガス圧力および CVD 時間は、300˚C、0.4Torr および 30sec.

（3－2）波及効果と発展性など

GeH_4-LPCVD 時に H_2 リモートプラズマから水素ラジカルを供給し、GeH_4 の分解と初期核発生を促進することで、熱酸化 SiO_2 表面に均一サイズの Ge 量子ドットを高密度(面密度~$2\times10^{11}cm^{-2}$)・一括形成できることを明らかにした。今後の研究展開として、前年度の $Si/Si_{0.6}Ge_{0.4}$ ヘテロ構造の価電子帯不連続量を定量評価した結果に基づいて、極薄 $Si/Si_{1-x}Ge_x$ ヘテロ構造上への Ge 量子ドットの形成および Ge 量子ドットの金属合金化反応制御に力点を置いて研究を推進し、極薄 SiO_2/Si_xGe_{1-x} 構造上に形成した Ge 系量子ドットをフローティングゲートに適応することにより、高移動度チャネルを有する多値機能メモリの設計指針が得られると期待できる。

本共同プロジェクト研究をベースとした国際連携ネットワークについては、2011 年度に開催予定の国際会議、7th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (Aug. 29－Sept. 1, Leuven, Belgium)を通して(研究代表者がプログラム委員として参画)、さらなる連携強化を進めるので、関連分野の発展にも貢献できると期待される。

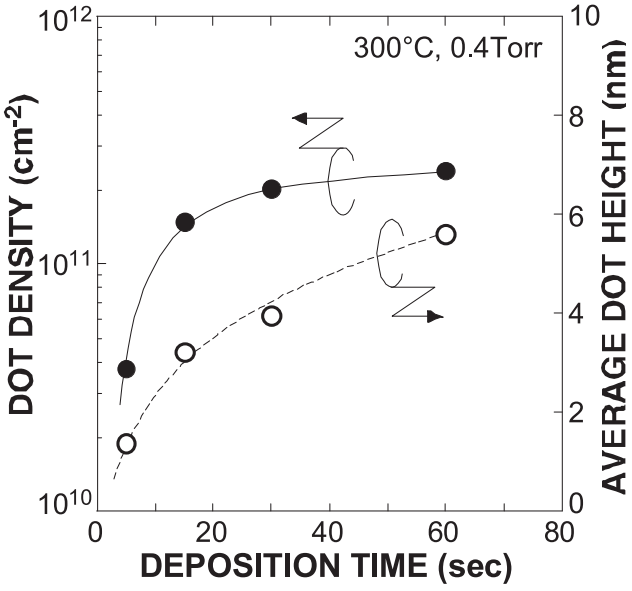


Fig. 2 表面形状像から見積もったドット面密度および平均ドット高さの H_2-RP 照射 GeH_4-LPCVD の堆積時間依存性.

［4］成果資料

（1）Akio Ohta, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Masao Sakuraba, Junichi Murota, “Determination of Valence Band Alignment in SiO_2/Si/$Si_{0.55}Ge_{0.45}$/Si Heterostructures”, 5th The International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) (May 24 – 26, Stockholm) 1910265.

（2）Katsunori Makihara, Mitsuhisa Ikeda, Akio Ohta, Shotaro Takeuchi, Yosuke Shimura, Shigeaki Zaima and Seiichi Miyazaki, “High Density Formation of Ge Quantum Dots on SiO_2”, Solid-State Electronics, Vol.60, pp.65-69, (2011).

共同プロジェクト研究

採択回数　①　２　３

採択番号　Ｈ２２／Ａ０３

電気磁気および磁気弾性効果の計算機物質設計とデバイス応用

［１］組織
代表者：小田　竜樹
（金沢大学 理工研究域）
対応者：白井　正文
（東北大学 電気通信研究所）
分担者：
鹿又　　武（東北学院大学 工学部）
鈴木　義茂（大阪大学 大学院基礎工学研究科）
野崎　隆行（大阪大学 大学院基礎工学研究科）
塩田　陽一（大阪大学 大学院基礎工学研究科）
木村　昭夫（広島大学 大学院理学研究科）
中村　浩次（三重大学 大学院工学研究科）
辻川　雅人（金沢大学 大学院自然科学研究科）

研究費：物件費２４万８千円，旅費３８万３千円

［２］研究経過

本プロジェクトでは，新規不揮発性メモリの開発に向けて，磁性体と誘電体を接合した薄膜において発現する電気磁気効果，および強磁性形状記憶合金において発現する磁気弾性効果を利用した要素技術の実現可能性を検討すると共に，性能向上に必要な材料・構造を理論設計することを目的として研究を行った。具体的には，１）不揮発性スピンメモリにおける電界アシスト磁化反転を利用した書換え技術の確立，２）磁場誘起マルテンサイト変態を示す新規強磁性記憶合金の開発を目標とする。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究項目１）については，磁性薄膜表面・界面における結晶磁気異方性の電界効果に関する第一原理計算を，三重大学，金沢大学，東北大学の各グループが行い，大阪大学グループが実験的に検証した。研究項目２）については，東北学院大学グループが強磁性記憶合金の作製および基礎物性測定を行い，広島大学グループが光電子分光の測定を実施した。その結果を東北大学グループが第一原理計算により解析した。

平成 22 年 12 月 17 日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催し，各グループの研究成果について意見交換を行い，現状での問題点を明らかにすると共に今後の共同研究の方策を検討した。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず，研究項目１）については，三重大学グループにより，Fe 薄膜の面直方向に外部電界（10 GV/m）を印加したときの結晶磁気異方性エネルギーが第一原理計算された。ここでは表面第一層の原子のみにスピン軌道相互作用を考慮して，表面原子の寄与のみが評価された。その結果、正の電極側にある表面では電子密度が増加し，結晶磁気異方性エネルギーが増加する傾向にあり，負の電極側にある表面では電子密度が減少し，結晶磁気異方性エネルギーが減少する傾向にあることが明らかになった。この結晶磁気異方性エネルギーの変化はフェルミ準位近傍の Fe 3d バンド構造の変化により説明できる。

また，Au/Fe/MgO 積層膜では，Fe/MgO 界面における Fe 3d 軌道と O 2p 軌道の混成の効果により，面直方向が磁化容易軸となる正の結晶磁気異方性を示すが，面直方向に外部電界を印加しても結晶磁気異方性はほとんど変化しない。一方，Fe/MgO 界面に FeO 層が形成されると，面内方向が磁化容易軸となる負の結晶磁気異方性が生じ，外部電界依存性が顕著になる。また，界面の FeO 層に O 原子欠損を導入すると，外部電界により磁化容易軸を面直から面内方向に制御できる可能性が示された。

［中村：成果資料 (1)］

これと関連して，金沢大学と東北大学グループの共同研究により，Au/Fe/MgO と Pt/Fe/MgO 薄膜における結晶磁気異方性の電界効果に関する第一原理計算による比較研究が行われた。外部電界（5 GV/m）により両薄膜に誘起される電子密度は同程度であり，静電遮蔽効果に著しい相違は見られない。しかし，外部電界により誘起されるスピン密度には，Au/Fe および Pt/Fe 界面付近で明確な相異が見られ，Pt/Fe 界面の方が Au/Fe 界面に比べて大きなスピン密度が誘起されている。これは Fe 3d 軌道と Pt 5d 軌道の強い混成のためである。

外部電界を印加しない場合，Au/Fe/MgO 薄膜は垂直磁気異方性を示すのに対して，Pt/Fe/MgO 薄膜は強い面内磁気異方性を示すことが明らかになった。Au/Fe/MgO 薄膜では，Fe 3d 軌道と Au 5d 軌道の混成が弱いため，フェルミ準位付近の電子状態は MgO 基板上の Fe 薄膜のそれと酷似しており，Fe/MgO 界面における Fe 3d 軌道と O 2p 軌道の混成に起因した垂直磁気異方性が支配的である。一方，Pt/Fe/MgO 薄膜では，Fe 3d 軌道と Pt 5d 軌道の強い混成効果により，フェルミ準位付近の電子状態が大きく異なっており，これが面内磁気異方性の起源となっている。結晶磁気異方性の電界変調に関しては，Pt/Fe/MgO 薄膜の方が Au/Fe/MgO 薄膜に比べ著しく増大しており，Pt/Fe/Pt 薄膜と同程度の電界効果が得られた。この電界効果の増大は，外部電界により Fe 3d 軌道と Pt 5d 軌道の混成強度の変化に由来している。

［辻川，小田，白井：成果資料 (2)］

FeCo/MgO/Fe 接合素子におけるトンネル磁気抵抗効果に起因した熱励起磁気共鳴ノイズ測定を直流バイアス電圧下で行い，電界印加による磁気異方性変化を定量的に評価した。外部磁界 2400 Oe を印加して FeCo 層の磁化を面直方向に飽和させた状態で，印加電界に依存してノイズピークが明瞭にシフトしている様子を観測した。このピーク周波数から見積もられる垂直磁気異方性エネルギーは，印加電界に対して線形に変化し，その変調率は約 37 fJ/Vm と理論計算値と対応した値が得られた。

［野崎，塩田，鈴木：成果資料 (3)］

新規材料系を用いた磁気異方性の電界制御の試みとして，Pd/FePd/MgO 薄膜の磁気異方性を磁気 Kerr 効果測定により評価した。FePd 膜厚 9 原子層以上の素子において明瞭な保磁力が観察されており，異方性定数 1.3×10^6 J/m^3 の垂直磁化膜が得られた。また，正バイアス電界の印加により垂直磁気異方性が増大することが確認された。これは Au/Fe/MgO 薄膜と逆符号であり，磁気異方性エネルギーの電界変調率は最大で約 380 fJ/Vm に達した。

［野崎，塩田，鈴木：成果資料 (4)］

金沢大学グループによる第一原理計算においても，Pd/Fe/Pd 薄膜では Pt/Fe/Pt 薄膜と逆の磁気異方性の電界変調が理論的に予言されているので，Pd/FePd/MgO 薄膜における磁気異方性の電界効果について今後の共同研究の進展に期待したい。

［辻川，小田：成果資料 (5)］

次に，研究項目 2）については，強磁性形状記憶合金 $Ni_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$ におけるマルテンサイト変態の発現機構を微視的に解明するため，大型放射光施設 SPring-8 を利用した硬 X 線光電子分光と第一原理計算により電子構造を詳細に調べた。その結果，Ni 3d e_g 軌道からなる状態密度のピークが構造相転移に伴いエネルギー分裂することが，マルテンサイト変態を駆動していることを見出した。また，母相である Ni_2MnSn では，Ni 3d e_g 軌道が完全に電子に占有されているため，構造相転移に伴うエネルギー利得が得られないが，Mn を過剰にしていくことにより，この軌道に空きが生じるため，構造相転移を起こして軌道分裂を起こした方が有利になることを明らかにした。

［木村，白井，鹿又：成果資料 (6)］

（3－2）波及効果と発展性

本プロジェクトにより，研究代表者ならびに研究分担者間の研究交流が飛躍的に活性化した。強磁性薄膜表面・界面における磁気異方性の電界制御は，次世代スピンメモリの磁化反転技術として期待されており，本プロジェクトの成果により早期の実用化が見込まれる。また，強磁性形状記憶合金は大変位アクチュエータとして有望な材料であり，本年度の成果により新材料創製に向けた指針が確立された。

［4］成果資料

(1) K. Natamura, T. Akiyama, T. Ito, M. Weinert, and A. J. Freeman, “Role of an interfacial FeO layer in the electric-field switching of magnetocrystalline anisotropy at the Fe/MgO interface”, Phys. Rev. B **81**, 220409(R) (2010).

(2) M. Tsujikawa, S. Haraguchi, T. Oda, Y. Miura, and M. Shirai, “A comparative *ab initio* study on electric-field dependence of magnetic anisotropy in MgO/Fe/Pt and MgO/Fe/Au films”, J. Appl. Phys. **109**, 07C107 (2011).

(3) T. Nozaki, Y. Shiota, M. Shiraishi, T. Shinjo, and Y. Suzuki, “Voltage-induced perpendicular magnetic anisotropy change in magnetic tunnel junctions”, Appl. Phys. Lett. **96**, 022506 (2010).

(4) F. Bonell, S. Murakami, Y. Shiota, T. Nozaki, T. Shinjo, and Y. Suzuki, “Large change in perpendicular magnetic anisotropy induced by an electric field in FePd ultrathin films”, Appl. Phys. Lett. **98**, 232510 (2011).

(5) S. Haraguchi, M. Tsujikawa, J. Gotou, and T. Oda, "Electric-field effects on magnetic anisotropy in Pd/Fe/Pd(001) surface", J. Phys. D: Appl. Phys. **44**, 064005 (2011).

(6) M. Ye, A. Kimura, Y. Miura, M. Shirai, Y. T. Cui, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, S. Ueda, K. Kobayashi, R. Kainuma, T. Shishido, K. Fukushima, T. Kanomata, "Role of electronic structure on martensitic phase transition of $Ni_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$ studied by hard x-ray photoelectron spectroscopy and *ab initio* calculation", Phys. Rev. Lett. **104**, 176401 (2010).

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２２／Ａ０４

採択回数	①	２	３

InGaAs HEMTを用いたスイッチング動作型電力増幅器高効率化の研究

［１］組織
代表者：楳田　洋太郎
（東京理科大学理工学部）
対応者：末光　哲也
（東北大学電気通信研究所）
分担者：田久　修
（東京理科大学理工学部）
研究費：旅費３７万５千円（予算）

［２］研究経過

（１）目的

近年、地球環境の温暖化を抑えるために、二酸化炭素排出量の低減が喫緊の課題となっている。中でも、通信は多くの電力を消費するため、その低消費電力化は等価二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献する。その取り組みの一つとして、ワイヤレス通信のグリーン化の研究が盛んになりつつある。ワイヤレス通信の中で最も広く利用される移動体通信では、送受信機の電力の半分以上が電力増幅器で消費される。このため、電力増幅器の高電力効率化はワイヤレス通信における等価二酸化炭素排出量削減に大きく寄与する。本研究は、この電力増幅器の高電力効率化のために、チャンネル材料の移動度および飽和電子速度が高いため高速動作が可能でかつ低損失な、InGaAs系HEMTの利用を検討する。

一方、近年電力増幅器のトランジスタをスイッチング動作（ON/OFF動作）させることにより、線形増幅を行いつつ理論的に効率を100%とすることができる電力増幅器の研究が精力的に行われている。しかし、完全なスイッチング動作をさせるためにはトランジスタを入力する方形波に完全に追従させることが必要となり、このためにトランジスタには信号周波数より一桁程度以上高い周波数で動作することが要求される。現状の電力増幅器に使用されているSi系MOSFET、GaAs系FETでは基本周波数が2～5GHz帯の通信に多用される周波数帯に対しても電力増幅器としての１桁以上の速度的な余裕がないため、現状の線形増幅を要求されるスイッチング動作型電力増幅器の電力効率は50%程度以下にとどまっている。さらに、将来、近距離大容量無線通信用に期待されている60GGHz付近のミリ波帯では、従来のトランジスタではスイッチング動作させることさえ困難であるため、効率はさらに低下する。しかし、常温で最も高速動作特性に優れたトランジスタであるInGaAs系HEMTをスイッチング動作型電力増幅器に適用することにより、5GHz以下の周波数帯では50%を大幅に上回る電力効率が得られるものと期待される。また、ミリ波帯においてもスイッチング動作型電力増幅器を構成することが可能となるため、低い周波数帯と同様の高い電力効率が得られると期待できる。さらに、InGaAs系HEMTは材料の移動度が高いため抵抗が小さいくなり、この点でも高効率電力増幅が期待できる。

（２）概要

本プロジェクトは、本年度が第１年度であった。以下、研究活動状況の概要を記す。

共同プロジェクト研究として、平成２２年度は、末光哲也准教授の開発したInGaAs系HEMTプロセスに対し集積回路プロセス化対応のための助言を行うとともに、集積回路設計に必要なCAD環境の開発を行った。具体的には、末光哲也准教授の開発したInGaAs系HEMTプロセスに対し二層配線工程および抵抗・キャパシタ追加のための助言を行うとともに、集積回路設計に必要なレイアウト規則の作成を行った。また、スイッチング動作型送信機に関しては、提案するI-Qチャンネル交互出力直交アップコンバージョン型送信機に対し、従来の包絡線パルス幅変調(EPWM: Envelope Pulse Width Modulation)送信機との特性比較を行い、この送信機が再現性の良いディジタル回路の利点を持つのみでなく、一部性能の低下はあるもの十分実用的な特性を持つことを示した[成果資料(1)]。さらに、高電力効率特性を維持しつつスイッチング動作型送信機の課題である量子化雑音を低減できるトランスバーサルフィルタ型電力増幅器を提案し、その効果を計算機シミュレーションにより示した[成果資料(2)]。一方、電力増幅器単体としては、代表的なRF用スイッチング動作型電力増幅器であるE級増幅器の設計手法をCMOSプロセスの素子パラメータを用いて確立した。さらに、電力増幅器の利用に関する方式技術として、ブロック伝送型マルチユーザOFDM伝送におけるピーク電力とチャンネル容量のトレードオフを実現する副搬送波割り当て法について提案を行った[成果資料(3)]。なお、InGaAs系HEMTの高速性を生かすための送信機

以外の回路応用の候補として、半導体発光デバイスの高速変調駆動回路[成果資料(4)]、およびアナログ演算高速フーリエ変換器についても設計技術の蓄積を行った[成果資料(5)]。

平成２３年度は、これらの成果をもとに、InGaAs系 HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器の設計、試作を行う予定である。具体的には、平成22年度にCMOSプロセスを用いて確立したE級増幅器の設計法をInGaAs系HEMTプロセスに適用し、末光准教授の下で集積回路として試作を行うとともに、試作された回路を当研究室において評価する予定である。また、InGaAs 系 HEMT の高速性を活かすため、他の回路への適用についても検討を行う。

（4）研究打合せの開催状況

本プロジェクト研究における平成 22 年度中の研究打合せの概要を下記に記す。

・第１回研究打合せ

日時：平成 22 年 12 月 22 日（水）15～18 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也（東北大学准教授)、赤川啓介(東北大学修士２年)、吉田智洋（東北大学修士１年)、楳田洋太郎（東京理科大学教授)、岸俊樹（東京理科大学学部４年)、藤岡翔太（同左）

打合せ内容：

電気通信研究所よりIGaAs系HEMTデバイス製作進捗報告、およびInGaAs 系 HEMT 回路試作の準備状況について報告があった。また、東京理科大学からは、集積回路設計用 CAD システムの説明、およびInGaAs 系 HEMT 回路設計に関する準備状況について説明があった。また InGaAs 系 HEMT 回路試作に必要なプロセスの条件について説明があり、試作に必要なレイアウト規則の要決定項目が示された。

・第２回研究打合せ

日時：平成 23 年 2 月 23 日（水）13～17 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：第１回研究打合せに同じ

打合せ内容：

電気通信研究所より、InGaAs 系 HEMT 回路試作のレイアウト規則について回答が示された。また、電気通信研究所より東京理科大学にトランジスタ回路モデル作成のための特性評価用のサンプルがDC特性資料とともに手渡された。東京理科大学からは、スイッチング動作型電力増幅器のCMOS プロセスを用いた設計の現状、およびInGaAs 系 HEMT を用いた回路研究計画について説明が行われた。

・第３回研究打合せ（延期）

平成 23 年 3 月 22 日（水）13 時より東北大学電気通信研究所で開催予定であった第３回打合せは、震災の影響で延期された。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果が得られた。

まず第１に、本プロジェクト研究で提案する I-Q チャンネル交互出力直交アップコンバージョン型送信機に対し、EPWM 送信機との特性比較を行った[成果資料(1)]。

近年包絡線除去復元(EER: Envelope Elimination and Restoration)、EPWM等のスイッチング動作型電力増幅器を用いた高効率送信機の研究が活発に行われている。しかし、これらの送信機は、位相情報のみを持つ搬送波の発生のために互いに直交する正弦波を合成、または周波数シンセサイザを使用するため構成が複雑になる。一方、I、Q チャンネルのベースバンド信号を直交アップコンバージョンする送信機は構成が簡単であるが、RF 帯でアナログ的に信号を合成する必要がある。これに対し、本研究では、I、Q チャンネルをRF 帯で交互に出力する事により、RF帯での信号合成までディジタル回路で処理可能な構成を提案した。本報告では、EPWM 型送信機とこの交互出力直交アップコンバージョン型送信機について、変調精度(EVM)及び所望波と不用波の電力比(D/U 比)の計算機シミュレーションによる比較を行った。その結果、提案する送信機では、隣接チャンネル相当の離調周波数における量子化雑音はEPWM送信機に比べ増加するため、ベースバンドでの量子化雑音を低減する必要があることがわかった。しかし、変調精度(EVM)は十分良好な結果を得、提案する送信機が電力送信機以外すべて再現性の良いディジタル回路で構成できることから、あらゆる機器に通信機能を組み込むユビキタス通信に使用できる見通しを得た。

第２に、スイッチング動作型送信機の量子化雑音低減に向けたトランスバーサルフィルタ型電力増幅器の提案と特性評価を行った[成果資料(2)]。

近年、EPWM等のスイッチング動作型電力増幅器を用いた高効率送信機の研究が活発に行われている。これらの送信機では出力における量子化雑音を低減するためにRF 帯における狭帯域な帯域通過フィルタを必要とする。しかし、1 台の送信機で様々な通信方式に対応しようとすると広帯域に中心周波数及び帯域幅が可変なフィルタが必要となるが、これを電力効率を落とさずに実現することは容易ではない。本研究では、高い電力効率を維持しつつ広帯域に中心周波数及び帯域幅を可変とするために、トランスバーサルフィルタ（TF）の各経路にスイッチング型電力増幅器を挿入したTF 型電力増幅器を提案した。この電力増幅器は

パルス変調とスイッチング型電力増幅器を用いた送信機における増幅器と帯域通過フィルタの機能を合わせ持つ。TF の各経路にスイッチング電力増幅器を挿入する構成により、高効率増幅を行いつつ量子化雑音を低減し、 さらに中心周波数と帯域幅が可変なフィルタとして機能できることを原理的に示した。

第３に、バースト信号入力時のＥ級増幅器の歪みの過渡応答特性評価を行った。

近年、無線通信における送信方法には高い電力効率と線形性が求められ、これに対しさまざまな送信機の構成が提案されているが、中でも EPWM 送信機は電力効率と線形性に対する要求を高い次元で両立する。しかし、EPWM 送信機でＥ級増幅器にバースト信号が入力された場合、バイアスの過渡応答により歪みが発生し線形性が低下する可能性がある。本研究では、CMOS プロセスのパラメータを用いＥ級増幅回路を設計し、バースト信号を入力したときのバイアスの過渡応答による振幅位相歪みの収束時間を計算機シミュレーションにより評価した。その結果、高効率を得るためバイアスをトランジスタのしきい値付近（Ｂ級）に設定した場合でもバイアス値が信号が有る場合とない場合で変化しないよう、しきい値を振幅の中心とした方形波を入力することにより、歪みの収束時間を信号の伝送効率が低下しない程度に小さくできることを示した。

（３－２）波及効果と発展性など

波及効果については、スイッチング動作型電力増幅器を InGaAs 系 HEMT プロセスを用いて作製することにより、マイクロ波帯で電力効率が 50%を大幅に上回ることが期待される。具体的には、5GHz 帯で効率 70%以上の線形増幅の実現を目標とする。これにより、移動体通信における電力消費を大幅に低減することが期待できる。また、60GHz 付近のミリ波帯近距離大容量無線通信においても、高効率なスイッチング動作型電力増幅器を構成することにより、電力効率の大幅な向上が期待できる。これらにより、ワイヤレス通信のグリーン化に貢献するとともに、等価二酸化炭素排出量の削減に寄与する。

一方、本プロジェクト研究では InGaAs 系 HEMT の集積回路試作に必要な製造プロセスの開発、および設計 CAD システムの構築を行っており、これらの作業は、現在、東北大学電気通信研究所と東京理科大学理工学部の間で行われている。これらが完成し、InGaAs 系 HEMT を用いた集積回路の試作の環境が整えば、多くの研究機関の回路設計研究者に本集積回路プロセスを用いた回路試作の希望を募り、本プロセスを用いた超高速、高効率回路の研究を大きく展開することができると考えている。さらに、本研究の当面の目標は電力増幅器の高効率化であるが、一度試作プロセスと設計用 CAD システムが完成すれば、さらに InGaAs 系 HEMT の超高速性を生かしたテラヘルツ領域で動作する電子回路の研究を開始することができる。これにより、近い将来この方面でも本プロジェクトが多くの研究者を引き付け、これまであまり例のないテラヘルツ領域での電子回路応用という新たな研究領域を開拓できると期待している。

［４］成果資料

（１）和泉宏典, 小島通彰, 楳田洋太郎, 田久　修, “包絡線パルス幅変調送信機と I-Q チャンネル交互出力直交アップコンバージョン型送信機の特性比較,” 2011 年電子情報通信学会総合大会, 2011 年 3 月.

（２）小島通彰, 和泉宏典, 田久　修, 楳田洋太郎, “スイッチング動作型送信機の量子化雑音低減に向けたトランスバーサルフィルタ型電力増幅器の検討,” 2011 年電子情報通信学会総合大会, 2011 年 3 月.

（３）田久修, 楳田洋太郎, “ブロック伝送型マルチユーザ OFDM におけるピーク電力とチャンネル容量のトレードオフを実現する副搬送波割り当て法の解析,” 電子情報通信学会無線通信システム研究会(RCS), 2010 年 6 月.

（４）田中拓行, 楳田洋太郎, 田久　修, “残留キャリア引き抜きによる可視光通信用 LED の高速駆動,” 電子情報通信学会通信方式研究会(CS), 2011 年 3 月（謝辞の記載有り）.

（５）高野大夢, 楳田洋太郎, 田久　修, “CMOS スイッチドキャパシタ回路を用いたアナログ高速フーリエ変換器の設計,”電子情報通信学会回路とシステム研究会(CAS), 2011 年 3 月（謝辞の記載有り）.

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０５

電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出

［1］組織
代表者：上原　洋一
（東北大学電気通信研究所）

対応者：同上

分担者：
稲岡　毅（琉球大学）
桑原正史（産業技術総合研究所）
坂本謙二（物質・材料研究機構）
佐野陽之（石川工業高等専門学校）
片野　諭（東北大学）

研究費：物件費 20 万 8 千円，旅費 22 万 3 千円

［2］研究経過

本研究の目的は、電子トンネルの非弾性トンネリング励起発光と光と電子トンネリングの相互作用を利用した光検出の研究を行い、新奇なナノ情報デバイスへの展開を図ることにある。

電子トンネリングを活用した発光素子は 30 年以上も前の1970年代から80年代にかけて金属-酸化膜-金属（M-I-M）構造を持つ平面接合で活発に研究された。この発光機構の最大の特長は発光周波数がバイアス電圧で決まる点にある。バイアス電圧値の制御により、長波からミリ波、可視、そして紫外までの任意の波長域の光を発生させることができる。この特性を活かし、例えば白色光源を目指した研究が活発になされたが、実用化には至らなかった。これは、発光効率が高くできなかったのが主たる原因である。

1980 代に入り、走査型トンネル顕微鏡（STM）が発明された。STM も M-I-M 構造を有するので同様に発光するが、M-I-M と大きく異なったのは発光効率である。STM の動作電流は M-I-M 接合のそれの約６桁小さいにも拘わらず、同程度の発光強度が得られる。すなわち、STM の構造をとることにより、発光効率が劇的に改善される（STM のアンテナ効果）。最近の研究により、効率向上の物理的要因がよく理解されるようになり、エンジニアリング的に発光強度を向上させる最適設計も可能になったと考えている。

また、光が電子トンネリングに与える効果（たとえば、光起電力、光整流、光誘起トンネリング等）も古くから知られた現象であるが、これらの効果を検出するためには「多数の光子」が必要であった。STM の探針-試料構造は強い光増強効果をもたらすことが知られており、STM 構造を有する検出素子を最適設計することにより、微弱光検出への応用も可能になると考えている。

以上の様な背景のもとに、本共同プロジェクト研究を企画した。初年度にあたる平成 22 年度はテラヘルツ波の光源にフォーカスした共同研究を実施した。ここで考えている発光の機構は電子トンネルにより励起された双極子からの放射である。電子トンネリングの有する特性により、双極子の励起効率は長波長（低振動数）側に向かって線形に増大するが、双極子からの放射効率は周波数の４乗に比例して低下する。図 1 (a)は可視域で強い発光を示す Au を試料とする場合の STM 発光のテラヘルツ領域におけるスペクトルである。STM 発光強度が低周波数側に向かって急激に低下していることがわかる。このように、可視域に較べテラテルツ域での電子トンネルの発光効率は非常に低くなる。このため、ここで想定している電子トンネル機構によるテラヘルツ光発生はこれまで試みられたことがない。図 1 (b)は GaAs を試料とする STM 発光スペクトルのシミュレーション結果である。この場合には発光強度が周波数と共に単調に低下するのではなく、非常に強いピーク状の構造が 8.9THz に得られている。解析によれば、これは GaAs-真空界面に局在する表面フォノン・ポラリトンを介しての発光である。この発光の効率をさらに向上させることにより、テラヘルツ領域で高い発光効率を有する光源を実現するのが目標である。

このためには（１）強い表面フォノン・ポラリトン放射を示す材料の探索、（２）電磁波放射効率向上のための最適アンテナ設計、（３）目的とする周波数領域のみに双極子を励起する電子トンネル制御、が基盤要素技術となる。これらの各要素の研究を行った。

具体的には、（1）に関して GaAs の表面フォノン・ポラリトン特性の研究を 12 月 17 日ー18 日に坂本氏と行った。また、強い表面フォノン・ポラリトン特性を示すと期待されるカルコゲン合金についての検討を 6 月 25 日ー26 日に桑原氏と行った。一般に、表面フォノン・ポラリトンは同じ周波数の光よりも大きい波数を有する。すなわち、表面フォノン・ポラリトンとテラヘルツ光の間には波数不整合が存在し、表面フォノン・ポラリトンは平滑な表面上では非発光性である。従って、光との結合（すなわち放射）効率向上のためには、波数不整合の解消が必須であり、このために有効な手段の一つは放射源をナノ構造化することである。これに関連して、カルコゲン合金のナノ構造を作成する上で有効であると思われるレーザーアブレーション法について在日中の坂井氏（仏国・トゥール大学・先端材料電気力学研究所）と 9 月 9 日ー10 日に共同研究を行った。（2）のアンテナには2つの相反する要求がある。一つは、すでに述べたように表面フォノン・ポラリトンと光の波数不整合解消にはナノサイズのアンテナが適切である。一方、電磁気学的な意味で有効なアンテナであるためには放射波長が基準となるサイズを有するべきである。このような相反する要求を満たすと期待されるアンテナ構造の電磁気学的特性を明らかにすることを目的として、新しい理論構築を稲岡氏と行い、最終打合せを 3 月 6 日ー8 日に実施した。現在、稲岡氏によるプログラムのコーディングは終了し、デバッグの段階にある。程なく結果が得られると期待される。（3）の実現のためには、電子トンネル特性に影響を与える表面電子状態密度を制御する必要がある。佐野氏は第一原理に基づく表面状態密度計算を専門としており、要求されるような状態密度を有する表面の電子状態の理論計算について 1 月 7 日ー8 日に共同研究を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

図 1 に示すように、電子トンネル発光においてもテラヘルツ領域で強い発光が得られる可能性があることが判ったのが大きな成果である。実現のための要素技術の方向性が明らかになったのも重要な成果である。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同研究プロジェクトのアイディアの一部に基づく科学研究補助金申請が挑戦的萌芽研究に採択された（採択番号 23654099　原子位置分解能を有するテフヘルツ光分光、代表 上原洋一）。

［4］成果資料

2 編の論文が関連成果として準備中であるが、平成 22 年度内には出版には至っていない。

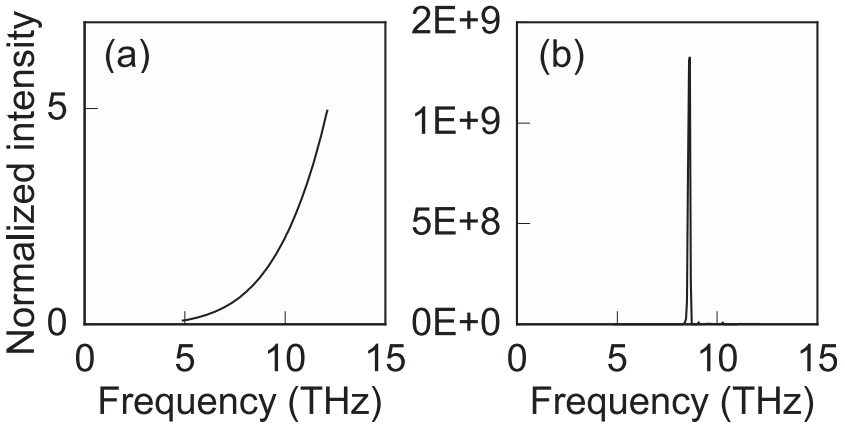


図 1　テラヘルツ領域に於ける(a) Au と(b) GaAs の STM 発光スペクトル

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０６

負のスピン分極材料を用いた スピントロニクスデバイスの研究

［1］組織

代表者：角田　匡清
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：白井　正文
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
浅野　秀文（名古屋大学工学研究科）
壬生　攻　（名古屋工業大学大学院工学研究科）
末益　崇　（筑波大学数理物質科学研究科）
古門　聡士（静岡大学工学部）
磯上　慎二（福島工業高等専門学校）
中村　哲也（高輝度光科学研究センター）
三俣　千春（日立金属㈱生産システム研究所）

研究費：物件費 19 万 4 千円，旅費 50 万 4 千円

［2］研究経過

巨大磁気抵抗（GMR）効果およびトンネル磁気抵抗（TMR）効果を示すスピンバルブ型強磁性金属積層膜が、ハードディスク再生ヘッドならびに磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM, Spin-RAM）等のスピントロニクスデバイス応用されている。実用化されているスピンバルブ積層膜の強磁性材料は、通常、多数スピン電子が伝導を担う“正のスピン分極”を持つ。これに対して、少数スピン電子が伝導を担う“負のスピン分極”材料を用いることで、新奇なデバイス特性が期待される。研究代表者らは近年 γ'-Fe_4N で理論予測された負のスピン分極を実験的に確認するとともに、その異方性磁気抵抗（AMR）効果に興味深い磁気的相転移現象が生じることを見出している。

そこで本研究では、γ'-Fe_4N の物性解明と同材料を用いたスピントロニクスデバイスの特性開発を行うこととした。具体的には、負のスピン分極を有する γ'-Fe_4N 薄膜の高品質成膜ならびに同薄膜の磁気ならびに磁気輸送特性の評価を行った。また、高品質 γ'-Fe_4N 薄膜薄膜と通常の正のスピン分極を有する 3d 遷移金属・合金（Co-Fe-B）薄膜を強磁性電極に用いたスピンバルブ型 TMR 積層膜を作製し、微細加工した同積層膜の磁気抵抗効果ならびにスピントランスファー効果による磁化反転特性について検討を行った。試料成膜と微細加工は主に東北大学において行い、分極評価（名古屋大）、界面状態・電子状態評価（SPring-8）、デバイス特性評価（福島高専）、伝導理論研究（静岡大）、積層膜スピン構造評価（日立金属）は各研究分担者の機関にて行った。さらに、研究分担者を一堂に会して下記の研究会を開催し、研究成果に関する討論を行い、これまでの研究知見・手法などの研究資源の整理と共有化を図った。

○第 1 回研究会
日時：平成 22 年 9 月 29 日（水）
場所：東北大学電気通信研究所 2 号館 W214 セミナー室
主題:『負のスピン分極材料を用いたスピントロニクスデバイス』
参加者数：22 名
プログラム：
『Fe_4N 薄膜の磁気抵抗効果 －AMR, GMR, TMR－』（東北大学工学研究科　角田匡清）
『Fe_4N/MgO/CoFeB-MTJ のインバース電流誘起磁化反転』（福島工業高等専門学校　磯上慎二）
『Fe_4N のスピン偏極伝導の理論的解析』（静岡大学工学部　古門聡士）
『Fe_4N 電極磁気トンネル接合におけるスピン依存伝導の第一原理計算』（東北大学電気通信研究所　白井正文）
『Fe_4N, Fe_3Si をベースとする共鳴トンネル型スピンフィルターの開発』（筑波大学応用理工学類　末益崇）
『NbN 接合法を用いた Fe_4N の準粒子トンネル分光』（名古屋大学工学研究科　浅野秀文）
『Mn 添加 Fe_4N の Mn-XMCD と強磁場 XMCD 開発』（JASRI／SPring-8　中村哲也）
『Fe/MgO/Co_2MnSn トンネル接合の磁気抵抗効果における温度依存符号反転現象』

（名古屋工業大学工学研究科　壬生攻）

[3] 成果

（3—1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(a) γ'–Fe_4N 擬単結晶薄膜の負の異方性磁気抵抗効果の結晶方位依存性

我々はこれまでに、γ'-Fe_4N 多結晶薄膜で負の異方性磁気抵抗（AMR）効果が観測されることを見出し、拡張した二流体モデルにより解析を行った結果、Fe_4N 薄膜の負の AMR 効果は、理論予測された少数スピン伝導の証拠であることを示した。また、AMR 効果の温度依存性を測定した結果、50 K 以下の温度で AMR 変化率の大きさが急激に増大することも見出している。本年度の研究では、これまでの報告に引き続き、擬単結晶 γ'-Fe_4N 薄膜の AMR 効果の電流方位依存性についてより詳細に検討を行った。スパッタ法により MgO(100)単結晶基板上に形成した 100 nm 厚の Fe_4N 擬単結晶薄膜をフォトリソグラフィーならびにイオンミリングの手法で Fe_4N[100]ならびに[110]方位と平行になるようにストライプ状に加工した。室温～4K の各測定温度において、5 kOe の磁場印加下で、直流 4 端子法で電気抵抗率の磁場印加角度依存性（以下 AMR 曲線）を測定した。

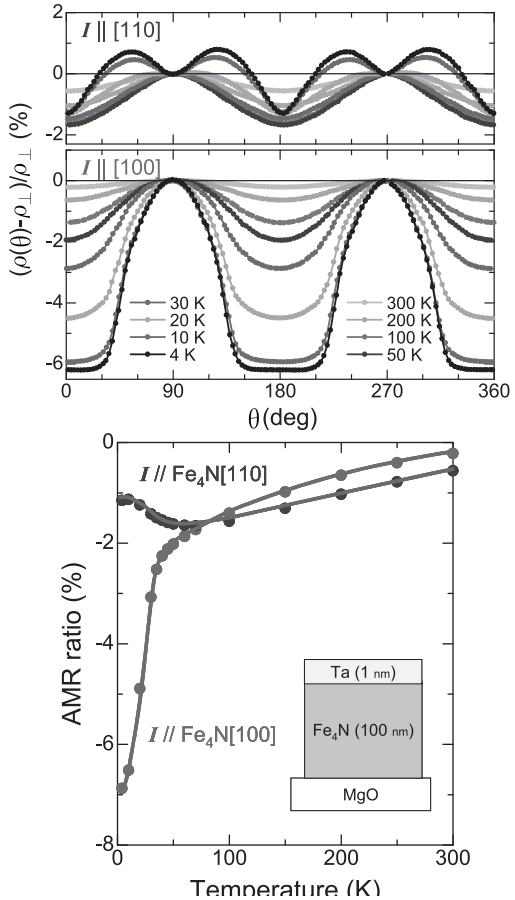


図 1. 擬単結晶 Fe_4N 薄膜の異方性磁気抵抗効果
抵抗の印加磁界角度依存性（上段：電流と磁界が平行な場合をθ=0 としている）ならびに異方性磁気抵抗変化率の測定温度依存性（下段）

図 1 に異方性磁気抵抗効果の測定結果を示す。AMR 比には 50K 以下の温度で急激な変化が観測され、50K 以上の温度では、測定電流方向の結晶方位依存性がほとんどなかったのに対して、50K 以下の温度では、大きな結晶方位依存性が存在することが明らかとなった。特に、測定電流を Fe_4N[100]方向に流した場合には、50K以下で急激な異方性磁気抵抗変化率の増大が認められ、同温度でスピンー軌道相互作用に関わる何らかの大きな変化が起きていることが示唆される。

AMR 曲線を詳しく見ると、30K以下の温度では、電気抵抗の印加磁界角度（θ）依存性に、cos 4θ 成分が重畳していることが判る。このような実験的知見ならびにバンド計算の結果から、低温における異方性磁気抵抗効果の大きな変化は、結晶方位に対する磁気モーメントの向きによって Fe_4N の各 3*d* 軌道の占有状態が変化する結果として、フェルミ準位における各 3*d* 軌道の状態密度が変化し、*s-d* 散乱に影響を及ぼした結果であると現在考えている。

(b) γ'–Fe_4N 薄膜をフリー層に用いた強磁性トンネル接合膜のインバース電流誘起磁化反転現象

下部電極 / Fe_4N(4) / MgO(0.72) / $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$ (2.9) / Ru(0.85) / Fe(2.5) / $Mn_{75}Ir_{25}$(7.5 nm) / キャップ層の膜構成で Fe_4N-MTJ 薄膜を作製した。磁場中熱処理条件は 3 kOe, 320℃, 1 時間とした。微細加工には電子線リソグラフィー, Ar / O_2 ミリングを用いた。加工後の素子面積は約 170×340 nm^2 であった。磁気抵抗（MR）及び CIMS の測定には直流四端子法を用いて室温で行った。CIMS において印加した電流のパルス幅は 700 ms, インターバル時間は 500 ms とした。

図 2 (d)に磁気抵抗曲線を示す。TMR 変化率は－13 %, *RA* は 5.8 Ωμm^2 であった。図 2 (e, f)に反平行（AP）および平行（P）磁化配列から測定した CIMS 曲線を示す. 図 2 e(f)ではそれぞれ, フリー層からピン層（ピン層からフリー層）へ電子が注入される向きで AP→P (P→AP)の反転が確認された。そのときの反転電流密度はそれぞれ J_c = －8.7×10^6, (8.7×10^6) A/cm^2 であった. 以上より, 注入電子の向きに対して好まれる磁化配列状態は, CoFeB-MTJ におけるそれ（図 2a-c）と逆であることが確認された。これは Fe_4N / MgO 界面における分極率の符号が負であることに起因すると考えられる。

強磁性トンネル接合における電流誘起磁化反転現象は、通常 Slonczewski の理論で良く説明されると考えられている。同理論に従えば、電流誘起磁化反転の方向は、ピン層のスピン分極率の符号によって決定され、フリー層のそれには因らない。この意味で、今回の研究で見出されたインバース電流誘起磁化反転現象は、従来の理論で説明できない新しい物理事象を含んでいるものと現時点で考えている。

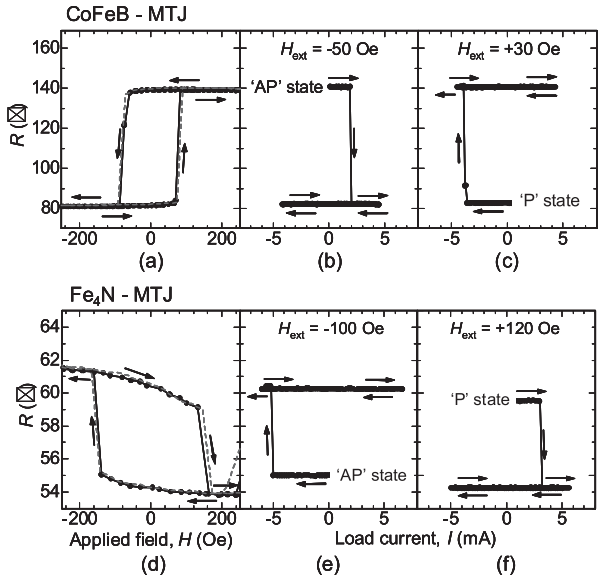


図２．Fe_4N フリー層を用いた強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗曲線(d)と電流誘起磁化反転曲線（e,f）．上段は CoFeB フリー層を用いた強磁性トンネル接合膜の比較結果（a-c）。

(3—2)波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会は、材料開発、理論研究、応用研究ならびに解析技術研究の各分野から、負のスピン分極材料ならびに同材料の応用に関する国内の第一線の研究者を集めたものであり、新たな研究コミュニティを確立することも目的の一つである。本年の研究会活動によりその目的は達成され、共著での学会発表や論文執筆、さらには、共同での科学研究費補助金申請や、大型放射光研究施設における研究プロジェクト申請など精力的な活動が行われている。本研究プロジェクトの継続的推進によって、新たな共同研究や、協力体制のより一層の強化が図られる。その結果として、独創的な高性能新材料の開発など、産業利用価値の高い大きな成果が生まれてくることが大いに期待される。

［4］成果資料

(1) 駒崎洋亮、角田匡清、磯上慎二、陳哲勤、高橋研,
“Fe_4N/MgO/CoFeB 強磁性トンネル接合の磁気抵抗効果の温度依存性”,
Journal of Magnetics Society of Japan, **34**(4), 524-528 (2010).

(2) S. Isogami, M. Tsunoda, Y. Komasaki, A. Sakuma, and M. Takahashi
“Inverse Current-Induced Magnetization Switching in Magnetic Tunnel Junctions with Fe_4N Free Layer”,
Appl. Phys. Exp., **3** (10), 103002-1-103002-3 (2010).

(3) M. Tsunoda, H. Takahashi, S. Kokado, Y. Komasaki, A. Sakuma, and M. Takahashi
“Anomalous Anisotropic Magnetoresistance in Pseudo-Single-Crystal γ'-Fe_4N Films”,
Appl. Phys. Exp., **3** (11), 113003-1-113003-3 (2010).

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０７

高飽和磁化純鉄ナノ粒子の化学合成とその集合体の軟磁気特性

［１］組織
代表者：高橋　研
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
小川　智之（東北大学大学院工学研究科）
田中　寿郎（愛媛大学大学院理工学研究科）

研究費：物件費２０万円，旅費９万９千円

［２］研究経過

現代の高度情報化社会を支える電子デバイス・電気機器に対して、「軽薄短小」かつ「省エネ・低環境負荷」の要望は年々強くなっている。このため、電気・電子機器産業の中核を担う小型高出力モータや高性能小型トランス等のデバイスでは、軟質および硬質の磁性材料の更なる高特性化が急務とされている。特に軟磁性材料では高透磁率化が必須とされ、これを実現するためには、強磁性体の“ナノサイズ化”と強磁性材料に真性的な磁気物性値である飽和磁化の“高飽和磁化化”が鍵を握る。現状の軟磁性バルク材料では、飽和磁化が高々2.0 テスラでありミクロン～サブミクロンスケールの磁性粒子となっていることから更なる透磁率の高特性化に限界が指摘されている。

本研究では、高飽和磁化軟磁性材料への応用を念頭に、10㎚以下の粒径制御性に優れ高飽和磁化を有する単分散純鉄ナノ粒子の化学合成技術の構築、および、その集合体制御技術と透磁率特性との相関を明らかにする。本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。初年度では、純鉄ナノ粒子合成時の不純物混入を避けるため、鉄原子を含む新規の有機金属錯体の合成法を構築し、それを熱分解することで高飽和磁化を有する単分散純鉄ナノ粒子を得ることを試みた。また、㎜サイズを有するバルク形状の純鉄ナノ粒子集合体を作製し、その磁気特性を調べた。

［３］成果

（３－１）研究成果

本研究グループのこれまでの純鉄ナノ粒子合成に関する研究から、$Fe(CO)_5$ を熱分解することで得られる純鉄ナノ粒子の飽和磁化(M_S)は最大で 170 emu/g 程度とバルク値(220 emu/g)に比べ小さく（図１中⋈印プロット）、粒径だけでなく試薬の仕込み量比や反応温度・時間等に大きく依存する。これはFeナノ粒子の M_S が粒子の表面状態だけでなく、粒子内の炭素や酸素等の不純物濃度や粒子核の生成ダイナミクスによる影響を受けるためである。本研究では、$Fe(CO)_5$ とオレイルアミン(OAm)を反応させ金属-配位子間結合を変化させた鉄前駆体($Fe(CO)_x$-OAm)を新たに合成し、これを用いて一定の合成条件(試薬比・温度・時間)のもと純鉄ナノ粒子の合成を試みた。これをもとに鉄前駆体の化学状態が純鉄ナノ粒子の粒径と飽和磁化に及ぼす影響を検討した。

$Fe(CO)_x$-OAm の生成に用いた $Fe(CO)_5$ と OAm の mol 比は１：１とし、反応温度を 30～180 ℃、反応時間を 1～180 min の範囲で変化させ、得られたものを反応前駆体とした。純鉄ナノ粒子は、180℃に加熱したケロセン 30ml 中に反応前駆体 2mmol を注入し 60 min 反応させることによって得た。

合成した $Fe(CO)_x$-OAm 反応前駆体の分解温度は 130 ～ 180 ℃まで高温化していることや可視光吸収スペクトルの結果から、$Fe(CO)_5$ の場合(100℃)に比べより強固な金属-配位子間結合を有し $Fe(CO)_5$ とは異なる前駆体が生成されていることが示された。また、$Fe(CO)_5$-OAm を用いて合成した純鉄ナノ粒子の粒径分散は 10%以下であり（図.2 参照）、反応前駆体の反応温度の上昇に伴い粒径は減少した。これは反応温度の上昇とともにFeとOAmの結合が強まった結果、ナノ粒子生成過程における微小サイズの核の安定性が向上し、核発生数が増大したためと推測される。これら純鉄ナノ粒子の飽和磁化は粒径10nmにおいて最大値 192 emu/g（図１中●印プロット）、2.3nm においても 165emu/g を示し、従来の $Fe(CO)_5$ を前駆体として用いた場合に比べ、飛躍的に飽和磁

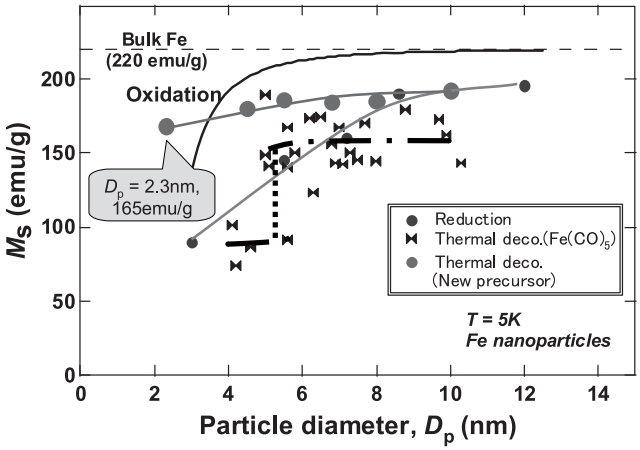


図. 1 低温直接合成法で得られた純鉄ナノ粒子の飽和磁化の粒径依存性.

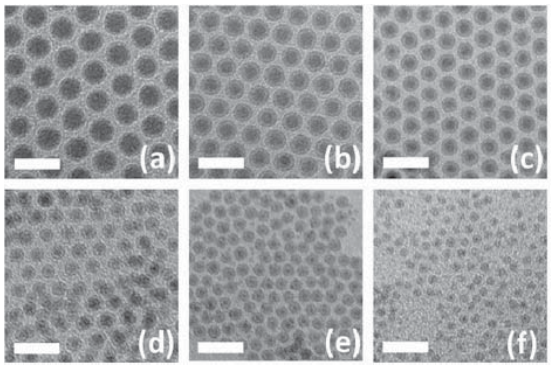


図. 2 Fe(CO)$_x$–OAm 反応前駆体を用いて合成した純鉄ナノ粒子の TEM 像.

化が向上した純鉄ナノ粒子を得ることに成功した。これは、反応前駆体を用いることにより、CO 配位子起因の炭素や酸素等の不純物の純鉄ナノ粒子への混入が低減されたことや飽和磁化の小さいコアの粒子径の微小化によるものと考えられる。

磁性ナノ粒子集合体の磁気特性は粒子の磁気異方性と双極子磁界の働きによって決定づけられる。飽和磁化が高く磁気異方性が小さい Fe ナノ粒子の集合体では、強い磁気双極子相互作用の影響が磁気特性において顕在化すると考えられる。磁気双極子相互作用の寄与を検討する上で、均質な集合体の作製とその粒子充填率の見積もりは必須である。本研究では、Fe(CO)x-Oleylamine 反応前駆体を熱分解して得られる単分散 Fe ナノ粒子を用いて集合体を作製し、そのナノ組織の直接観測および磁気物性評価を通して、磁性ナノ粒子集合体における磁気双極子相互作用エネルギーの定量評価手法を提案した。図.3 に平均粒径 8.2nm の Fe 粒子を用いて作製した集合体の断面 TEM 像を示す。自己組織化により一定の粒子間距離を維持した状態で最密充填構造を形成していることが分かった。高速フーリエ変換(FFT)画像解析から、Fe ナノ粒子の充填率は 43%と見積もられた。孤立した粒子と集合体の超常磁性転移温度の比較を通して磁気双極子相互作用エネルギーを求めると、充填率から計算される 2 粒子モデルにおける双極子相互作用エネルギーの約 13 倍でよく近似できることが分かった。結果として、集合体中のナノ粒子の受ける双極子磁界は最大で約 6 kOe と見積もられた。これは Fe ナノ粒子の異方性磁界（約 1 kOe）に比べて 6 倍大きく、この系では磁気双極子相互作用に由来する特異な磁気特性の発現が期待される。

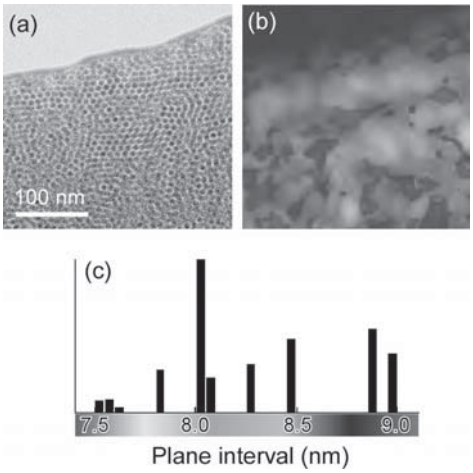


図. 3 (a) Fe ナノ粒子集合体の断面 TEM 像、(b) FFT 解析結果、および(c) 周期間隔解析結果.

（3－2）波及効果と発展性など

GHz 帯域駆動デバイス用材料として、本プロジェクトの主眼となるナノサイズの高飽和磁化単分散純鉄ナノ粒子は単磁区構造であり磁壁や磁区構造の非線形要因を含まない。また、高充填率化に伴う磁気双極子相互作用の誘起に応じて、スーパースピングラスや超強磁性などの純鉄ナノ粒子集合体に特異な磁気特性を室温で発現する可能性を秘めている。つまり、本プロジェクトで構築する磁性ナノ粒子型材料は、従来の強磁性材料で成し得なかった新規物性の獲得と、高い粒径均一性のためこれらの物性に粒径分布由来の特性ばらつきを最小限に低減可能であり、磁気特性の制御性が飛躍的に向上する可能性を秘めた新たな複合材料と位置付けることができる。

［4］成果資料

(1) “Phase transformation of FeO/Fe_3O_4 core/shell nanocubes and facile synthesis of Fe_3O_4 nanocubes”, H. T. Hai, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Applied Physics* **107**, 09E301-1-09E301-3 (2010).

(2) “Size control and characterization of wustite (core)/spinel (shell) nanocubes obtained by decomposition of iron oleate complex.”, Hoang Tri Hai, Hai Tao Yang, Hiroaki Kura, Daiji Hasegawa, Yasunobu Ogata, Migaku Takahashi and Tomoyuki Ogawa, *Journal of Colloid and Interface Science* **346**, 37-42 (2010).

(3) “Synthesis of Monodisperse Iron Nanoparticles with High Saturation Magnetization using $Fe(CO)_x$-Oleylamine Reacted Precursor”, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Physical Chemistry C* **114**, 5835-5838 (2010).

(4) “Extreme enhancement of blocking temperature by strong magnetic dipoles interaction of α-Fe nanoparticle-based high-density agglomerate”, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *J. Phys. D : Appl. Phys., Fast Track Communications* **44**, 022002-1-022002-4 (2011).

(5) “Effect of Hydrogen Plasma Treatment on Reduction Process of Iron Oxide Nanoparticles”, T. Maki, H. Kura, H. Ishida, H. Yang, T. Kaneko, R. Hatakeyama, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Physics: Conference series* **266**, 012120-1-012120-5 (2011).

(6) **“**High thermal stability of the ferrimagnetic moment in exchange biased FeO (core)/spinel (shell) nanocubes**”,** H. T. Hai, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Physics: Conference series* **266**, 012127-1-012127-5 (2011).

(7) “Collective magnetic behavior of α-Fe nanoparticles with systematically controlled volume fraction”, T. Ogawa, H. Kura and M. Takahashi, *Scripta Materialia* (掲載決定).

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０８

パーソナル音響テレプレゼンスシステムの研究

［1］組織
代表者：平原　達也
（富山県立大学工学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）
岡本　拓磨（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費２３万３千円，旅費２９万９千円

［2］研究経過

従来のテレプレゼンスシステムにおける主役は視覚情報と腕や指の運動で、音響情報は脇役であった。音響テレプレゼンスシステムとしては、マルチチャンネルのデジタル信号処理を利用した音場再生システムがあるが、システムが大規模な故にパーソナルに利用しにくい。また、従来の立体音響ディスプレイは、ユーザの頭部伝達関数と音源の位置が既知でなければならないので、音響テレプレゼンスシステムとしては利用しにくい。本プロジェクトでは、受聴者の頭部運動を高速かつ静粛に追従するダミーヘッドであるテレヘッドを IP ネットワークで結んだパーソナルな音響テレプレゼンスシステムを構築し、そのパーソナル音響テレプレゼンスシステムとしての有効性を検証することを目的として研究を行った。

本年度は、本プロジェクトの第一年度で、ネットワークを介したテレヘッドの相互接続を目標とした。研究経過の概要は以下のとおりである。

4、5 月は今年度の研究実施計画を立案した。5 月から 7 月にかけて、２チャンネルの音響情報と１チャンネルの頭部姿勢情報を、IP ネットワークを介して送受する方法およびそれを実現する機器の調査を行った。 8 月にはそれらの IP 機器のデモ機を用いて、富山県立大の LAN 内での通信実験を行い、基本性能の確認実験を行った。また、富山県立大にてこれまでの調査状況の検討会を開催した。9 月から 12 月にかけては必要な機器の調達を行った。12 月 13 日～14 日に仙台で、本プロジェクト研究の進捗状況を確認するとともに今後の予定を協議した。1,2 月は両サイトでのネットワーク外部接続の準備を行い、2 月 26,27 日に仙台にて最終的な接続実験の打ち合わせを行った。そして、3 月初旬に富山県立大と RIEC 間でテレヘッド相互接続実験を行い、音響信号の授受を確認した。3 月に東京で開催された日本音響学会で、頭部姿勢情報の送受を含めた最終的なテレヘッド相互接続実験の打ち合わせを行った。しかし、3 月 11 日に起きた大震災のためにその実施は来年度に延期せざるを得なくなった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下の成果を得た。まず、テレヘッドをインターネット経由で相互接続するために必用な装置を整備し、その基本動作を確認した。2 チャンネルの音響信号系は AAC コーデックを内蔵した IP テレビ会議システムを、RS-232C を用いた頭部姿勢情報は、シリアルポート対応機器をインターネット経由で接続するデータサーバー（DS）と呼ばれる装置を用いることにより、相互接続できることを確認した。これらの装置を用いて実際にテレヘッドを LAN 内、および、インターネット経由で富山県立大と RIEC を接続し、動作確認と予備実験を行った。

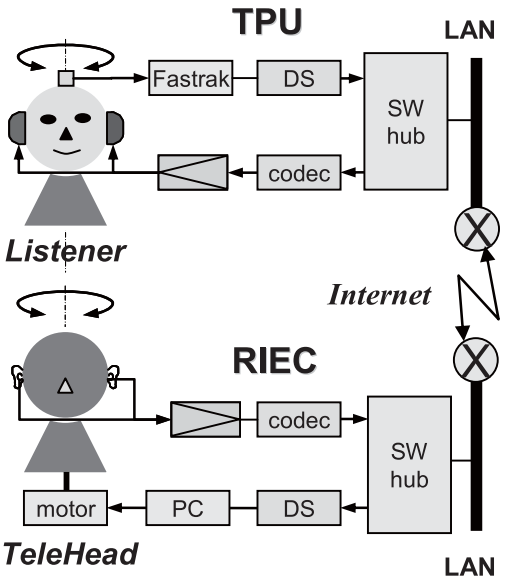


Fig.1　インターネット経由のテレヘッド接続

立体音響情報を伝送する場合、左右2チャンネルがそれぞれ正確に信号スペクトルの強度を符号化し、伝送し、復号することとともに、左右2チャンネル間の時間関係を保持して信号を符号化し、伝送し、復号することが必要である。これは、バイノーラル信号に含まれる両耳間音圧差(ILD: interaural level difference)、頭部伝達関数（HRTF: head-related transfer function）のスペクトル的特徴、そして、両耳間時間差（ITD: interaural time difference）が立体音像の再生に不可欠だからである。

そこで、富山県立大平原研究室内サブネットのLANで、スイッチングハブを3個介して2台のテレビ会議システムをIP接続した。そして、テレヘッド上のダミーヘッドの両耳に装着した2つのマイクロホンで収音した音響信号と、送信側・受信側合計2つのコーデックを経て復号された音響信号とを比較することにより、ILDとITDがどの程度保持されているかを検証した。収録した信号はテレヘッドの周囲で移動するヒトが発話した音声である。

Fig.2はテレヘッドで収録した送信側の左右チャンネルの音圧波形と、それらをコーデックで符号化し、IPネットワークで伝送し、コーデックで復号化された受信側の左右チャンネルの音圧波形である。コーデックでの符号・復号時間とネットワーク伝送時間を合わせた伝送遅延時間は371.2 msであった。

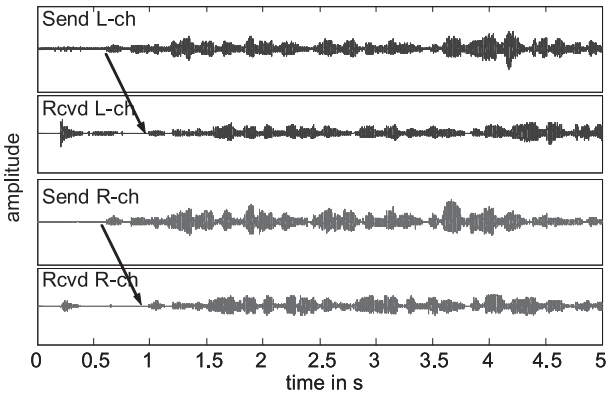


Fig.2　送信側と受信側のバイノーラル信号波形

Fig.3は送信側と受信側のITDの時間変化を描いたものである。両者の間には伝送遅延時間分のずれが認められるが、それを補正した後の送信側と受信側のITDの差異は最大20 μsであった。

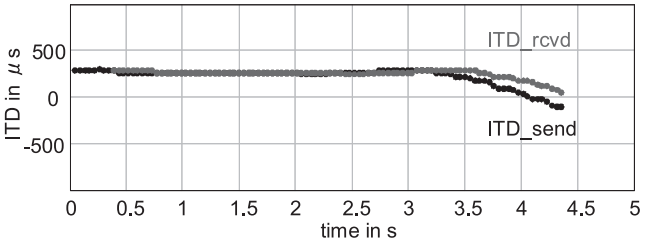


Fig.3　送信側と受信側の両耳間時間差（ITD）

Fig.4は送信側と受信側のILDの時間変化を描いたものである。ITDと同様に両者の間には伝送遅延時間分だけずれが認められ、それを補正した後の送信側と受信側のILDの差異は最大0.5 dBであった。

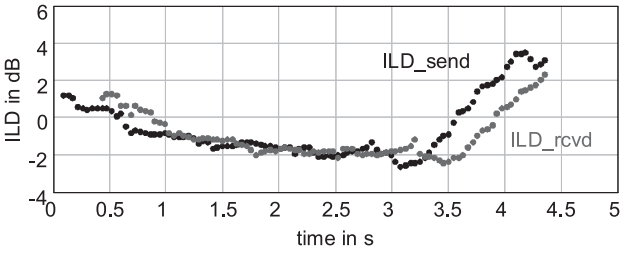


Fig.4　送信側と受信側の両耳間音圧差（ILD）

Fig.5は送信側の信号スペクトルと受信側の信号スペクトルとの差異、すなわちコーデックの伝達周波数特性を描いたものである。同図より伝達特性は、100 Hz以下では−6 dB以下、200 Hz ～ 5 kHzの間では±2 dB、10 kHzで−5 dB、14.3 kHz以上では−10 dB以下であることがわかる。

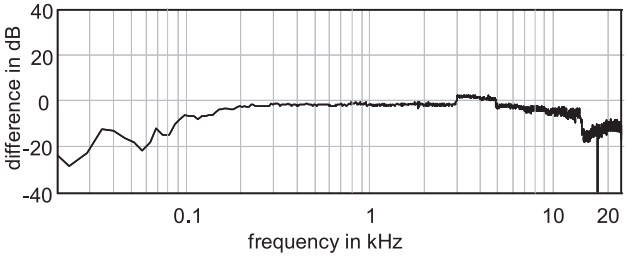


Fig.5　送信側と受信側の信号のスペクトル差

以上の結果より、IP接続によるバイノーラル信号伝送において、ILDとHRTFのスペクトル的特徴については全く問題ないが、ITDと伝送遅延時間はクリティカルであるといえる。しかし、富山県立大とRIEC間のテレヘッド相互接続予備実験では、双方の音場の再生が十分可能であった。これは動的バイノーラル信号の利用により、音響的な厳密性を緩和されているためと考えられる。

（3－2）波及効果と発展性など

本年度は、インターネットTV会議システムを利用したテレヘッドの相互接続が可能であることと、IP接続したバーノーラル信号の伝送特性を検証し、その有効性と問題点を確認した。これらの成果は、テレヘッド等を用いたパーソナル音響テレプレゼンスシステムの実現に結びつく。

［4］成果資料

(1) D. Morikawa, T. Hirahara, “Signal frequency range necessary for horizontal sound localization,” Acoustical Science and Technology 31(6), 417-419 (2010.11)

(2) 平原達也, “音を聴く聴覚の仕組み, ” 日本音響学会誌 66(9), 458-465 (2010. 09)

採択回数　①　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ａ０９

人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報処理システムに関する研究

［1］組織
代表者：田中　章浩
（早稲田大学高等研究所）
対応者：坂本　修一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：なし

研究費：物件費 227,000 円，旅費 190,000 円

［2］研究経過

視覚や聴覚など複数の感覚情報を伝達するマルチモーダルな情報通信システムにおいて，情報の発信と受容の担い手は人間であり，人間のマルチモーダル知覚の特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる．例えば音声（話し言葉）の知覚において，声の情報に加えて口の動きなどの視覚情報が重要なことが知られている．

また近年は，高次臨場感通信など感性情報の伝送の重要性が非常に高まってきている．「何を言っているか」のみならず，「どのように言っているか」すなわち話し手の情動などの感性情報の伝送を実現する上では，話者の音声（聴覚情報）のみならず，表情を含む話者映像の視覚情報も併用することが必要不可欠であると考えられる．しかし，音声と映像がどのような要件を満たせば感性情報を効果的に伝送できるのかは明らかでない．

そこで本研究では，効果的かつ自然で豊かな音声情報を伝送可能なマルチモーダル音声情報通信システムを構築するための基礎的検討として，人間の視聴覚音声知覚能力を検討して，マルチモーダル音声情報通信システムが満たすべき要件を同定することを目的とする．

本プロジェクトは，平成 17〜19 年度に共同プロジェクトとして採択された「人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究」の延長として位置づけられる．前回の共同プロジェクトでは，1) 視聴覚ズレの検知限は音声の全体時間長によって変化し，かつ，音声の全体時間長と伸長率の比率によって表現できる，2) 高齢者は視聴覚のずれの検知限，許容限ともに大きく，ずれに対する感度が低い，3) 視聴覚の時間差の検知限は「慣れ」によって変化することなどを見出した．

本プロジェクトは，前回の共同プロジェクトの成果をもとに，マルチモーダル効果の一般性を検証し，さらに自然で豊かな感性情報通信を実現すべく発展させるものである．そこで本年度は，これらの成果を踏まえながら，

(1) 人間のもつ視聴覚時間差の心理的微調整能力
(2) 音声知覚系に固有の認知処理を誘発するために必要な声情報

について検討した．

以下，研究活動状況の概要を記す．

第 1 回研究打ち合わせ（5 月）　人間のもつ視聴覚時間差の心理的微調整能力について得られた実験結果について議論した．また年度内研究計画について議論した．

第 2 回研究打ち合わせ（6 月）　音声知覚系に固有の認知処理を誘発するために必要な声情報の要件に関する実験計画について議論した．

第 3 回研究打ち合わせ（12 月）　音声知覚系に固有の認知処理を誘発するために必要な声情報の要件に関する実験経過について議論した．また，同時期に開催されていた多感覚研究会の参加メンバーも交えて，これまでに得られた実験結果全体について議論した．

第 4 回研究打ち合わせ（12 月）　音声知覚系に固有の認知処理を誘発するために必要な声情報の要件に関する実験結果について議論した．

第 5 回研究打ち合わせ（3 月）　今年度の成果の総括と，次年度の方向性について議論した．

［3］成果

（3－1）研究成果

(1) 人間のもつ視聴覚時間差の心理的微調整能力

口の動きと音声の時間差の検知限は，慣れ（順応）によって変化する．この時間差微調整能力について，マガーク効果（「パ」の音声に「カ」の口が随伴したマガーク刺激に対して「タ」が知覚される現象）を利用して，順応による音声の聞こえの変化という観点から検討をおこなった．参加者は，口の動きに音声が遅延するマガーク刺激を観察し続けた後，様々な時間差で呈示されるマガーク刺激に対して，聞こえの判断をおこなった．実験の結果，音声遅延に順応するとマガーク効果の生じる割合が増加した．マルチモーダル音声情報処理システムでは，視聴覚非同期が常に一定であれば微調整が生じることが，従来の同時性判断のみならず，聞こえという間接的指標からも示された．

(2) 音声知覚系に固有の認知処理を誘発するために必要な声情報

視覚刺激と聴覚刺激が同一の事象に由来するという知識が，視聴覚音声の同時性知覚に与える影響を検討した。具体的には，音声とも非音声とも解釈可能な正弦波音声を用いて，音韻情報を伴う音声であるという教示を与えた場合には顔画像との統合が促進され，時間順序判断が困難になる可能性について検討した．その結果，聴覚刺激の識別が十分可能である場合には，聴覚刺激が音声であるという教示の有無は時間順序判断に影響を与えなかった．一方で，聴覚刺激の識別が困難な場合には，音声であるという教示がある場合に時間順序判断の成績が低下した．これにはいくつかの理由が考えられるが，聴覚情報が十分識別できない場合，その音が画像と関連する音声であるという知識によって，同時性知覚の精度が低下する可能性が示唆された．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトがきっかけとなって，東北大学および早稲田大学の２大学による共同研究体制が発足した．また，本プロジェクトをきっかけに，代表者は日本認知科学会で新たな分野に関するシンポジウム（多感覚コミュニケーション）を企画・開催し，通研対応者らを講演者として招聘した．同シンポジウムには総勢100名に上る参加者が得られ，議論も盛況を呈した．さらに，同シンポジウムを弾みとして．『認知科学』誌で「多感覚コミュニケーション」の特集号が企画され，代表者がエディタを務めることになった．

本プロジェクトからは先に挙げたように，マルチモーダル音声情報処理システムの構築に必要な，人間の知覚特性に関する重要な基礎的知見が得られつつある．今後は，本プロジェクトの通研対応者と代表者がともに研究分担者として参加している科学研究費補助金特別推進研究「マルチモーダル感覚情報の時空間統合」（研究代表者・東北大学電気通信研究所・鈴木陽一教授）のサブプロジェクトの一つとして本プロジェクトをさらに発展させて，音声の視覚情報と聴覚情報の時空間統合過程の解明を進めていく予定である．

また，代表者は本プロジェクトをきっかけに，新たなプロジェクトとして，マルチモーダル音声情報処理の国際比較に関するプロジェクト「顔と声の組み合わせが伝える真の感情に関する認知科学的検討：文化を超えた感情翻訳技術の開発に向けて」を提案し，総務省 SCOPE の助成を得て，2010 年 9 月より研究を進めている．本プロジェクトで得られた新たな人間情報処理計測技法や，日本語話者を対象とした実験結果を活かして，国際比較研究をおこなうことで，マルチモーダル音声情報処理に言語や文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される．

［4］成果資料

学会発表

（1）Asakawa, K., Sakamoto, S., Tanaka, A., Abe, T., Iwaya, Y. & Suzuki, Y. “Speech identification with time-varying visual information extracted from the lip area”, 2011 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, Tianjin, China, 2011年3月

（2）Asakawa, K., Tanaka, A., Sakamoto, S. & Suzuki, Y. “Audio-visual synchrony perception of simplified speech sounds heard as speech or non-speech”, 第二回多感覚研究会, 東北大学, 2010年12月.

（3）Asakawa, K., Tanaka, A., Sakamoto, S. & Suzuki, Y. “Audio-visual synchrony perception of simplified speech sounds heard as speech or non-speech”, 11th International Multisensory Research Forum, Liverpool, UK, 2010年6月

論文

（1）Asakawa, K., Tanaka, A., Sakamoto, S., Iwaya, Y. & Suzuki, Y. “Audiovisual synchrony perception of simplified speech sounds heard as speech and non-speech”, Acoustical Science and Technology (in press)

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２２／Ａ１０

採択回数	①	２	３

ストレス応答に対する自然音の影響

［１］組織

代表者：福土　審

（東北大学医学系研究科 行動医学）

対応者：鈴木　陽一

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

山口　昌樹

（岩手大学大学院工学研究科バイオ・ロボティクス部門）

小野　綾子

（東北大学大学院 医学系研究科 行動医学分野／長崎大学大学院 医歯薬総合研究科 医療科学専攻 予防医学講座 特別研究学生 ）

研究費：消耗品総額　202,000　円

旅費総額　180,000　円

［２］研究経過

本プロジェクトはストレス応答が刺激の性質と負荷順位によりどのように決定されるかを解明すること目的として研究を行った。初年度として、下記研究概要の仮説１が支持されることが明らかになった。研究活動状況の概要としては、岩手大学大学院の山口研究室を訪れ、唾液のストレス関連物質、アミラーゼ測定器について研究打ち合わせを実施、電気通信研究所にて、音の大きさや音色の正確な提示ができるよう、機材の調達と計測および設定を行った。

行動医学分野の研究室で多数の研究打ち合わせが行われ、研究発表としては片平キャンパスでの国際シンポジウムにてポスター発表を行ったほか、第56回日本宇宙航空環境医学会大会では口頭発表を行った。

＜目的＞

21 世紀にはストレス関連疾患が医療上の大きな比重を占めることが確実視されている。ストレス応答は、環境からの刺激（ストレッサー）、刺激の脳内処理、自律神経内分泌反応、末梢臓器の機能的・器質的変化によって構成される。情動研究の進展によって、末梢臓器そのものからの感覚信号のフィードバック、ならびに、扁桃体、前帯状回、前頭前野、島、視床下部や橋・延髄からなる情動回路を構成する局所脳の機能が、ストレス応答を増幅もしくは減弱させることが判明している。加えて、刺激の性質と負荷順位が重要である。刺激は、ヒトの日常生活では、嗅覚、視覚、聴覚、味覚、体性感覚の五感を刺激する因子として自覚されることが多い。しかし、ヒトにおけるストレス応答が、刺激の性質と負荷順位により、どのように決定されるかという問題には未だ不明な点が多い。

ストレス応答が刺激の性質と負荷順位によりどのように決定されるかを解明することができれば、ストレス関連疾患を克服できるだけでなく、ストレスによる健康障害の端緒を予防できると考えられる。ストレス関連疾患としては、過敏性腸症候群(irritable bowel syndrome: IBS)を代表とする心身症、うつ病性障害、不安障害などがある。これらは、健康状態から全く不連続に発症する疾患群ではなく、寧ろ、一過性のストレス応答から、慢性のストレス応答に移行してゆく病態であり、軽症から重症まで数多くの型が存在する連続的な疾患群である。従って、一過性のストレス応答を詳細に分析することには、医学的に大きな意味がある。

一方、刺激が持つ医学的な意味は、人体がどのような環境に置かれているかによって異なる。通常、われわれは、気温 10℃〜30℃、湿度 30〜70%、気圧 1013 hPa、重力 1G 内外の環境下でヒトのストレス応答を議論している。しかし、人間の活動圏は高山、深海、熱帯や極地などの地球上の環境の全てに拡大しており、国際宇宙ステーションなどの地球外環境での活動も増大している。従って、地球上の平均的環境だけでなく、きわめて特殊な環境下におけるストレス応答にも応用可能な研究が必要である。

その端的な実例として、国際宇宙ステーションが挙げられる。ここでは、宇宙飛行士が宇宙に長期滞在している。その環境は無重力であり、感覚刺激の変化に乏しい隔離閉鎖空間であって、低周波雑音と臭気があり、昼夜を区別する信号に乏しく、宇宙放

射線曝露の危険がある環境である(European Space Agency)。このような環境では、志願者から厳選された宇宙飛行士でさえ、不安、恐怖、抑うつ症状や人間関係の悪化が見られることがある。このような極端な環境下においても応用可能なストレス対処方法として、音楽を用いた弛緩法が知られている。しかし、音楽の場合は、個人による嗜好性が強いため、一般的・普遍的な知見を獲得しにくいという欠点がある。これに対して、水の音や風の音などの自然音は、大多数のヒトにおいて弛緩心象に結びつけることが可能な音刺激である。

以上の背景から、本研究では、以下の仮説を検証することを目的とする。

仮説 1：自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱できる。

仮説 2：自然音の刺激によって、認知行動処理が改善する。

＜方法＞

対象：健常 12 例（掲示による公募）、IBS 10 例

方法：

1）計測準備

検査日、東北大学行動医学生理検査室でベッド上安静とし、電極とマンシェットを以下のように装着した。脳波電極： Fz、Cz、C3、 C4、Pz、A1、A2、心電図：第 II 誘導、マンシェット：左上腕。

2）刺激負荷

計測準備が終了したら、刺激として、視覚刺激 2 種類と聴覚刺激 2 種類を負荷した。

(2-1) 視覚：視覚弁別-作業ストレッサーとして、Go/Nogo 課題をコンピュータを用いて負荷した。これは、対象に左右両手にボタンを与え、画面に現れる矢印の方向のボタンを押させるものである。Go 課題では、Go 信号を読み取って素早くボタンを押さなくてはならず、その時の反応時間を測定する。一方、一定の割合で Nogo 課題を与え、Nogo 信号を読み取らせて、ボタン押しを禁ずる。課題は 100 回で終了するが、そのことは事前に対象には伝えない。Go/Nogo 課題は集中力と抑制を要求する課題であり、ストレッサーとしては、active coping 課題に属するもので、神経活動と作業成績をともに評価できる。対照刺激としては自然環境画像を呈示した。

(2-2) 聴覚：ヘッドフォンにより、弛緩心象に結びついた自然音を 10 分間負荷した。対照刺激としては雑音を与えた。

3）条件設定

視覚 2 通りと聴覚 2 通りの 4 条件を比較した。4 条件とは、以下の組み合わせであり、1 条件について 10 分間の持続時間、間隔 5 分間とした。

A. 自然環境画像-雑音
B. 自然環境画像-自然音
C. Go/Nogo 課題-雑音
D. Go/Nogo 課題-自然音

4）計測

4 条件の間、開始から Go/Nogo 課題 100 回が終了するまでもしくはそれに相当する時間の脳波と心電図の記録を持続した。開始 5 分後に 1 分間閉眼させ、脳波基礎波を測定した。開始 6 分後に唾液採取用綿球（Sorbette cotton）を口腔内に挿入し、開始 8 分後に血圧を測定した。開始 10 分後の終了時に唾液採取用綿球を口腔内から回収し、内分泌検査に供した。直後に条件による気分を Profiles of Mood Status (POMS)ならびに問診により測定した。

5）心理行動分析

対象には信頼性と妥当性が確立されている以下の質問紙による心理行動分析を行った。施行時期は検査施行前とした。

Rome II Modular Questionnaire (RIIMQ)、Self-reported IBS Questionnaire (SIBSQ)、Gastrointestinal Symptoms Rating Scale (GSRS)、Perceived Stress Scale (PSS)、Psychological General Well Being (PGWB)、Job Content Questionnaire (JCQ)、POMS、SF-36、Toronto Alexithymia Scale、Cornell Medical Index、Self-rating Depression Scale (SDS)、State-Trait Anxiety Inventory (STAI)、ミネソタ多面的人格検査(MMPI)、Parental Bonding Instrument (PBI)。

6）測定値

Go/Nogo 課題からは事象関連電位(event related potentials: ERP)の P1 電位と N2 電位を中心に潜時と振幅を計測した。また、脳波基礎波を FFT（Fast Fourier Transform 高速フーリエ変換）解析し、α・β・δ・θ 波パワー値を算出した。心電図は開始 3 分間の R 波を取り出して R-R 間隔を測定し、心拍数を算出するとともに、心拍変動解析による high frequency (HF)と low frequency (LF) パワー値ならびにその比(LF/HF)を測定する。血圧は収縮期血圧値と拡張期血圧値を得る。唾液採取用綿球は専用容器にて遠心分離し、唾液を凍結した後、解凍して s-amylase、chromogranin A、cortisol を測定した。

7）統計解析

測定データから、同一疾患内の条件間変動を一元

配置分散分析ならびにpost-hoc testにて行う。また、群間の差異を二元配置分散分析ならびにpost-hoc testにて行う。

［3］成果

（3-1）研究成果

初年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第一に、仮説1が支持された。即ち、自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱できた。

第二に、仮説2は否定的であった。自然音の刺激によって、認知行動処理は改善しなかった。

仮説1のとおり、自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱させるという結果が得られた。一元配置分散分析にて，唾液アミラーゼは有意に変動し($P = 0.016$)，多重比較 Post hoc test では自然環境映像・自然音の組み合わせでノイズに比して有意に減少（$p = 0.026$)，同様にGo/Nogo課題でもノイズに比して自然音で有意に減少した（$p = 0.022$)。POMSで測定した緊張・不安も一元配置分散分析にて有意に変動し($P = 0.016$)，Post hoc testでは自然環境映像でノイズに比して自然音で有意に不安・緊張が減少（$p < 0.05$)，Go/Nogo課題でもノイズに比して自然音で有意に不安・緊張が減少した（$p < 0.05$)。更に，自然環境映像・自然音の組み合わせでGo/Nogo課題・ノイズの組み合わせに比して有意に不安・緊張が減少した（$p < 0.05$)。

仮説2の認知行動処理が改善するということについては、有意差が見られなかった。脳波については再解析を行う。

（3-2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、火星を模擬したアメリカ・ユタ州の砂漠の中の閉鎖環境における共同研究に発展した。また、本プロジェクトで明らかになったストレス応答減弱の成果は、宇宙精神医学という新しい研究領域の開拓に結びつき、宇宙長期滞在における心身の健康と音環境改善の手段として今後の発展が期待されている。

また、自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱させ認知行動処理が改善するということが明らかになれば、宇宙のような極端な隔離閉鎖空間のみならず、病院や学校、オフィスやレストランなど、様々な場所における応用も考えられる。自然とはかけ離れた現代社会の環境で、意図的に作り出すヴァーチャルな自然音環境が、実際に社会で広く応用されるようになれば、人々の不安・緊張が低下し、ストレス応答の亢進を未然に防ぐ効果が期待できよう。

＜今後の準備状況＞

本研究は、東北大学大学院医学系研究科倫理委員会にて既に承認されている（平成21年9月28日、番号2009-276)。健常者対象の研究成果については、既に国内の学会および国際シンポジウムでの発表を行った（成果資料参照)。今年度(平成23年)、10月の国際会議でも発表する予定である。ストレス関連疾患群についてはデータを取得済みであり、これから解析を行い健常者と比較していく。

＜今後の体制＞

東北大学大学院医学系研究科行動医学分野の生理検査室にて生体反応検査を実施する。唾液検体は岩手大学と共同して分析を進める。東北大学電気通信研究所と共同し、正確な音提示を可能にするシステムを構築している。

［4］成果資料

1）Ono A, Suzuki Y, Saito F, Yamaguchi M, Tayama J, Hattori T, Fukudo S. The effect to saliva amylase, a stress-related substance, and changes of mood by natural sound. Poster presentation. 1st Tohoku International Symposium of Multidisciplinary Neuroscience. Sendai, Japan. 2011.1.21-23.

2）小野綾子, 福土審. 自然音によるストレス関連物質唾液アミラーゼへの影響と気分の変化. 第56回日本宇宙航空環境医学会大会, 2010.11.11-13.

採択回数　①　２　３

採択番号　Ｈ２２／Ａ１１

音空間のバーチャルリアリティを用いたユニバーサル音空間訓練システムの構築

［１］組織
代表者：大内　誠
（東北福祉大学）
対応者：岩谷　幸雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
関　喜一（産業技術総合研究所）
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
矢入　聡（仙台高等専門学校）
大谷　真（信州大学）
水戸部一孝（秋田大学工学資源学部）
棟方　哲弥（産業技術総合研究所）
本多　明生（いわき明星大学）
鈴木　雅史（秋田大学工学資源学部）
吉村　昇（秋田大学）
稲永　潔文（株式会社サザン音響）

研究費：物件費 25 万 5 千円，旅費 11 万 4 千 2 百円

［２］研究経過

従来，視覚支援学校（旧盲学校）等における歩行訓練は，白杖を持って実際の歩道を歩くことが基本であり，歩行技術を習得するまでに数年かかるなど，視覚障害者にとっては大きなストレスになっていた。

そこで，実際の路上訓練に出る前に，安全な音空間内で歩き回りながら歩行訓練を受けることができるような，３次元音響バーチャルリアリティ技術と仮想環境歩行訓練技術を開発した。そのための基礎研究として，頭部伝達関数をシミュレートした３次元音響再生技術（３Ｄサウンド）と，GPS，加速度センサ，地磁気センサ，ジャイロセンサなどの組み合わせた広範囲位置計測技術を用いて，実際に歩き回れるくらいに面積の広い音響仮想環境を実現するための研究を行った。

今年度は，上記の「広範囲仮想環境歩行訓練システム（Wide-Range Auditory Orientation Training System：以下 WR-AOTS）」の開発と基礎実験，ならびに，βバージョン（プロトタイプ）の一般公開を行った。

さらに，反射音を聴いて障害物の有無や距離を認知する能力をアセスメントおよび訓練するための「反響定位訓練システム」の新規開発に着手した。

WR-AOTS は，平成１９～２１年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究「３Ｄサウンドによる視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究」がベースとなっている。WR-AOTS の特徴は以下の通りである。

①可搬型とするため１台のノート型 PC で動作可能
②音響レンダリングのソフトウェア化により専用ハードウェアよりも低価格
③地磁気ジャイロセンサと GPS などの計測デバイスで構成し低価格
④身体の外へ引き回される各種センサのワイヤリングが不要で安全

一方，反響定位訓練システムは，東北大学電気通信研究所鈴木・岩谷研究室で開発した，3 次元音響情報提示ミドルウェア SiFASo(Simulative environment for 3-D Acoustic Software)をアプリケーションの中核部に配し，足音などの反射音をできるだけ正確に模擬することにより，反響音を特定する能力をアセスメント／訓練するものである。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究打合せ：
平成 22 年 8 月 6 日　　第１回　東北大通研
①モーションセンサの代替機種の選定について
②プロトタイプの一般公開について

平成 22 年 10 月 25 日　　第２回　東北大通研
①日本医科大学眼科医・小野眞史先生との意見交換
②進捗報告，学会報告

平成 22 年 11 月 4 日　　第３回　東北大通研
①システム拡張，新規補助金応募について

平成 23 年 3 月 15 日　　第４回　東北大通研
※東日本大震災のため中止

［３］成果

（３－１）研究成果

①WR-AOTS の開発概要

はじめに，WR-AOTS の開発概要について述べる。



(a)外観図



(b)実装例の写真

図１　WR-AOTS の構成

WR-AOTS は，被訓練者にヘッドホンを装着させ，PC は肩掛けカバンなどで携帯させて使用する。GPS および地磁気・セラミックジャイロ・加速度一体型センサはヘッドホンのヘッドバンド上部に固定（または GPS のみ肩上部等に固定も可能）する。各種センサおよび ASIO サウンドアダプタは USB を通して PC に接続される（図 1）。

WR-AOTS の操作は GUI (Graphical User Interface)を通して行う。操作画面（図２）は，画面左側に仮想訓練環境内部の様子を表示し，画面右側にコントロール（操作ボタン等）を配置した。

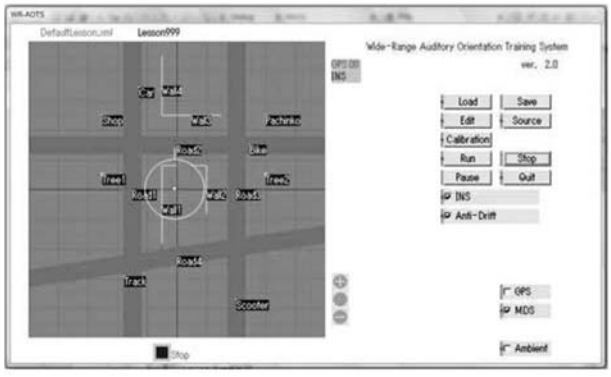


図２　WR-AOTS の訓練士用インタフェース

②移動音像の速度と連続性に関する基礎実験

ヘッドホン聴取で離散的に移動する音像を提示し，聴取者が連続移動であると知覚するための条件を求めた。

【実験条件】音像の移動速度は 7 種類 (0.25 m/s, 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1.0 m/s, 2.0 m/s, 3.0 m/s, 4.0 m/s)，音像の提示ステップ間隔は 10 種類（0.00 s, 0.02 s, 0.03 s, 0.04 s, 0.05 s, 0.06 s, 0.07 s, 0.08 s, 0.09 s, 0.10 s)。

【実験参加者】若年健聴者 20 名

【実験結果】

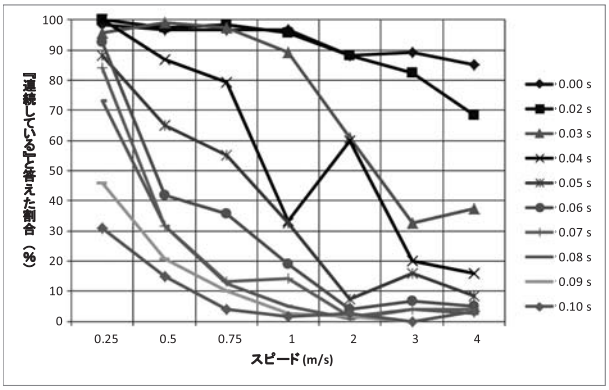


図３　連続していると答えた割合

図３は，横軸が音像の移動スピード（m/s)，縦軸が連続していると答えた割合（%）を示している。このように，離散的な音像移動が連続移動であると知覚されるためには，ステップ時間が長いほど速度がゆっくりでなければならないということが分かった。

すなわち，WR-AOTS において，自動車やバイクなどの移動音像を提示する際には，速度が増すに従って音像提示位置の更新間隔を短縮しなければならない。

③WR-AOTS のβバージョンの無償頒布について

視覚障害者の歩行訓練に必要と思われる基本的な要件をほぼ満たした WR-AOTS について，さらにブラッシュアップするために，教育や訓練の専門家に利用していただくことにした。

ただし，現在のシステムは，現在位置を取得するために GPS 装置を，また，頭部運動情報を取得するためにモーションセンサを必要とするため，ソフトウェアをダウンロードしてすぐに利用することができない。

そこで，配布するプロトタイプでは GPS 装置やモーションセンサを取り付けなくても，マウス操作で移動や頭部の水平角を変更できるようにソフトウェアの改良をおこなった（図 4)。これを WR-AOTS のβバージョンとして無償頒布を開始した。

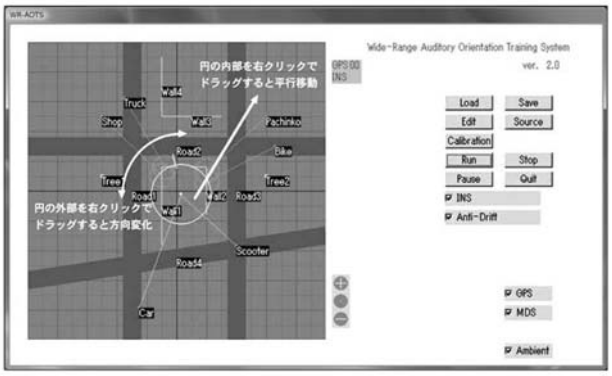


図４　WR-AOTS のβバージョン：円の中心が頭部の中心を表す。円の内部をマウスの右ボタンでドラッグすると移動できる。円の周囲を右ボタンでドラッグすると頭部を水平に回転させることができる。

なお，頒布はWEB ページから自由にダウンロードさせるのではなく，登録してもらった人に直接送付し，意見を募れるようにした。現在まで６件配布済みである。

④反響定位訓練システムの新規開発

反響定位訓練システムは，足音や舌打ち音，ならびに，それらが壁や障害物などに反射して跳ね返ってくる音を PC 内で生成し，ヘッドホンを通じて両耳に提示するものである。天井，床，前後左右の壁からの一次反射音を，壁までの距離や壁素材に応じて変化させることが可能である。壁素材は，布製カーペット，コンクリート，ビニールタイル張り，ウッド，煉瓦，石膏，全反射，全吸収など全部で８種類を模擬できる。本システムを用いて訓練可能と思われる能力は以下の通りである。

⑴障害物や壁までの距離を認識する能力
⑵開口部の有無やその方向を知覚する能力
⑶廊下や部屋などの広さを認識する能力
⑷認知地図(mental map)を形成する能力

訓練指導者は，図５のような実行画面を見ながら壁の有無や開口部の方向など，必要に応じて指示をだすことにより訓練を行う。



図５　訓練者用実行画面

（３－２）波及効果と発展性など

WR-AOTS の無償頒布が開始され，今後，視覚障害者リハビリテーション施設や視覚支援学校で試用されることにより，システムの改良につながることはもとより，効果的な訓練方法の提案や確立などにつながることが期待される。

一方，反響定位訓練システムについては眼科医らとの意見交流が始まり，今後，本システムを技術面だけでなく，医療面からも改良を加えることにより，訓練だけではなく反響定位能力のアセスメントツールとしても期待される。

［４］成果資料

1) Yoshikazu SEKI, Yukio IWAYA, Takeru CHIBA, Satoshi YAIRI, Makoto OTANI, Makoto OH-UCHI, Tetsuya MUNEKATA, Kazutaka MITOBE, and Akio HONDA, "Auditory Orientation Training System Developed for Blind People using PC-Based Wide-Range 3-D Sound Technology," Extended paper of IWPASH 2009, 2010.
2) 関喜一，岩谷幸雄，千葉武尊，矢入聡，大谷真，大内誠，棟方哲弥，水戸部一孝，本多明生，「聴覚ディスプレイと歩行トレーニング」，日本機械学会第 22 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集，2010.
3) 関喜一，岩谷幸雄，千葉武尊，矢入聡，大谷真，大内誠，棟方哲弥，水戸部一孝，本多明生，「広範囲測位 3 次元音響による視覚障害者の聴覚空間認知訓練システムの共同開発」，東北大学/産総研　包括連携公開講演会，2010.
4) 関喜一，岩谷幸雄，千葉武尊，矢入聡，大谷真，大内誠，棟方哲弥，水戸部一孝，本多明生，「3 次元音響を用いた聴覚空間認知訓練システムβ版」，第 19 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集，2010.
5) 関喜一，岩谷幸雄，大内誠，矢入聡，大谷真，棟方哲弥，水戸部一孝，本多明生，稲永潔文，「広範囲電子的測位による 3 次元音響を用いた視覚障害者の聴覚空間認知訓練の可能性（第 4 報）－β版配布開始－」，第 36 回感覚代行シンポジウム講演論文集，2010.
6) 大内　誠，岩谷幸雄，関喜一，「３次元音響バーチャルリアリティによる視覚障害者のための反響定位訓練システムの試作」，第 19 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集，2010.
7) 大内　誠，岩谷幸雄，関喜一，「バーチャル聴覚ディスプレイ技術を応用したヒューマンエコーロケーション訓練システムの開発（第１報）」，第 36 回感覚代行シンポジウム講演論文集，2010.

共同プロジェクト研究

採択回数 ① 2 3

採択番号　Ｈ２２／Ａ１２

周波数領域両耳聴モデルにおける指向特性制御に関する研究

［１］組織
代表者：苣木　禎史
（熊本大学大学院自然科学研究科）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
宇佐川　毅
（熊本大学大学院自然科学研究科）

研究費：物件費２３万円，旅費２３万５千円

［２］研究経過

周波数領域両耳聴モデル(FDBM: Frequency Domain Binaural Model)は，人間の聴覚機能のうち，特に両耳聴条件での音源の定位能力と，それに依拠した特定音源信号への注意集中による検出能力の向上を模擬した計算機モデルである。このモデルは，現在開発途上ではあるが，その基礎的な特性の向上により，補聴器をはじめとする広い応用分野が想定される。

前プロジェクトでは，FDBM の性能向上と医療福祉分野を中心とした応用システムの開発を目的として，FDBM の応用の一例である両耳補聴システムへの適用の可能性を探った。また，両耳補聴システムで必要となるハウリングキャンセル機能の検討を行った。また，時間-周波数領域フィルタリングの事後処理を行い，ミュージカルノイズの低減を行い音質の評価を行った。

本課題では，次世代両耳補聴器を実現するための基礎技術の開発とそれらの融合化を目指す。

［３］成果

（３－１）研究成果

【FDBM について】

FDBM は，右耳，左耳位置に相当する場所での入力信号から音波の到来方向を推定し，その方向から音を強調できる。２入力で方位角のみならず仰角まで推定でき，出力信号には音源の方向情報を残したまま強調できる。演算量が少なく，実時間処理が期待できるアルゴリズムである。

Fig.1 は FDBM のブロック図であり，入力信号を高速フーリエ変換し，両耳間位相差・レベル差を用いた音源方向推定および分離を行い，逆高速フーリエ変換により出力を得るまでの流れを示している。

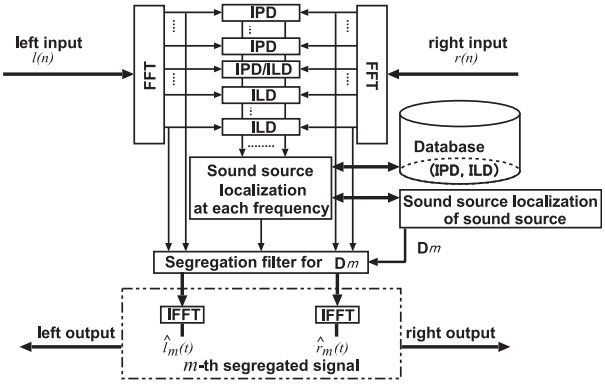


Fig.1 周波数領域両耳聴モデルのブロック図

この FDBM は，任意の方向に指向特性を形成可能である。これを両耳補聴器へ応用する場合，指向性を自動的に聞き取りたい音の方向に適応制御することが望まれる。適応制御においては，先行音効果をモデル化することを試みて音源方向の安定した推定を検討した。(文献 1,7,9)また，両耳信号による音源方向推定では，音源方向の前後判断が難しいため，ニューラルネットを用いた高精度でかつ高速な判別法の検討を行った。(文献 2,6,8)このように，指向性制御の完全自動化は望まれつつあるものの，常用する補聴器への応用を考えるとフェイルセーフも十分に考慮した高度なシステム設計が必要となる。ユーザー自身が制御する必要がある場面では，身体動作全般も重要な役割を果すことが考えられる。人の意識的，無意識な行動は指向性制御に欠かせないものであり，その行動

のひとつは頭部運動である。これは，人が音像定位をする際に首を自然と振ることや，振ることによって定位精度が向上する知見から明らかである。このように，人の行動による制御は次世代両耳補聴器に必須の技術であり，本課題の一部として，それを実現するための基礎技術の検討を行った。ここでは，耳穴埋め込みが可能な大きさの補聴器本体に装着可能な大きさの６軸慣性センサーを利用して，頭部の運動を検出について述べる。（文献 4,5,10）

【結果】

本課題で，頭部運動の微細な動きを検出できる独自のシステム構築を行った。Fig.2 に被験者が小型 6 軸慣性センサーを装着した様子を示す。頭部を大きく覆っているのは評価ボードであり，センサー自身は 10 mm x 8 mm の大きさのため小型補聴器本体に実装できるものである。このセンサーは，従来の６軸センサーに比べ，高分解能かつダイナミックレンジが広いため，検出精度の向上が期待できる。

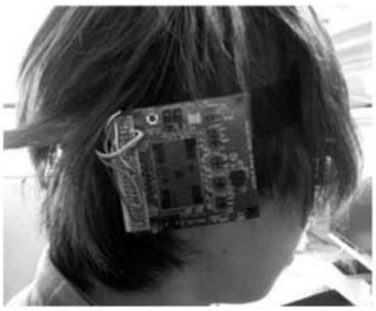


Fig.2　６軸慣性センサー装着の様子

被験者は，着座状態で頭部を水平面上にて非常に緩やかな運動である 30°/s から急峻な運動である 180°/s の速度で回転させる。このセンサーは，3 軸加速度と 3 軸角速度を検出できる。予備実験にて，頭部回転運動に対しては加速度は有効な変動を示さないことが明らかであったため，角速度のみに運動判別閾値を設定した。被験者は５名であり，正面方向から指示した方向へ指定した速度で首を左右に振る課題を与えた。検出結果は Table 1 の通りである。

Table 1 頭部運動の検出率

	検出率（%）		
時間 / 角度	0.5s	0.75s	1s
30°	100	98	96
60°	99	99	98
90°	100	100	100

この結果より，基本的には検出が可能であることが示唆されている。しかし，今回のコントロール条件下での性能であり，日常利用では身体全体の動きが回転運動の信号に対して雑音として重畳されるため，フィルタリングや適応処理により安定した運動検出や様々な運動の同時検出の検討が必要である。

ここでは，身体動作を指向性制御のキューとするするための基礎的検討について述べたが，先行音効果のモデル化による指向性制御技術などの基礎検討も行い，基礎技術の複合化による次世代両耳補聴器を実現できる可能性が示唆されつつある。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて，両耳補聴システムに必要不可欠な処理を個々に開発を進めてきている。それぞれに改良の余地はあるが，演算量の少ない方法であるため既存の製品に対しても個々に適用可能である。今後は，行動と指向性制御の連携や先行音効果などによる音源方向推定との連携の検討を行うことにより，全体を通しての性能向上を検討することにより，製品化への期待ができる。

［４］成果資料

(1) 藤澤暁，苣木禎史，宇佐川毅
サブバンドピークホールド処理を用いた両耳聴に基づいた音源方向推定，日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, pp.603-606（2010）

(2) 佐保貴哉，今村浩二郎，苣木禎史，宇佐川毅
矢状面座標系における領域分割前処理による音源方向の全方位推定手法
日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集, pp.681-684（2010）

(3) 苣木禎史，藤澤暁，Nguyen Van Duc，宇佐川毅
周波数領域両耳聴モデルの小型情報端末への実装とその特性，日本音響学会 2010 年秋季研究発表会講演論文集，pp.678-679（2010）

(4) 島添真和，苣木禎史，宇佐川毅
耳介装着型センサによる身体動作の検出に関する研究，情報処理学会九州支部若手の会セミナー2010 講演論文集，pp.17-18（2010）

(5) 島添真和，苣木禎史，宇佐川毅
3 軸加速度センサを用いた頭部傾倒動作の検出，第 18 回電子情報通信学会九州支部 学生会講演会，D-16, p.1（2010）

(6) Atsuya Saho, Koujiro Imamura, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa
An estimation method of sound source direction in sagittal coordinate utilizing binaural input
Proc. Asia Pacific Signal and Information Processing Association, Annual Summit and Con-

ference 2010 Student Symposium, p.14（2010）
(7) Satoru Fujisawa, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa
Estimation of Sound Source Direction using Binaural Signal with Onset Detection, Proc. Asia Pacific Signal and Information Processing Association, Annual Summit and Conference 2010 Student Symposium, p.47（2010）
(8) Atsuya Saho, Kojiro Imamura, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa
Improvement of directional selectivity of binaural hearing assistance system -On front-back confusion with an artificial neural network -, Proc. Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics 2011, pp.81-84（2011）
(9) Satoru Fujisawa, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa
Direct sound enhancement based on directions of sound source detected at onsets of binaural signals, Proc. Kyushu-Youngnam Joint Conference on Acoustics 2011, pp.133-136（2011）
(10) 長林洋輔
6 軸慣性センサを用いた頭部の動作検出に関する基礎研究，熊本大学工学部情報電気電子工学科卒業論文（2011）

採択回数	①	2	3

採択番号　H２２／A１３

ブレインウェアシステムの研究

［1］組織

代表者：加納　敏行（日本電気株式会社）
対応者：多田　順次（東北大学電気通信研究所）
分担者：
矢野　雅文（東北大学電気通信研究所）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
中島　康治（東北大学電気通信研究所）
大堀　淳　（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
桝井　昇一（東北大学電気通信研究所）
塩入　論　（東北大学電気通信研究所）
中尾　光之（東北大学大学院情報科学研究科）
石黒　章夫（東北大学大学院工学研究）
虫明　明　（東北大学大学院医学系研究科）
川上　進　（東北大学電気通信研究所）
外池　光雄（千葉大学大学院工学研究科）
中嶋　宏　（オムロン(株)）
國尾武光　（日本電気(株)）
藤澤　浩道（(株)日立製作所）
前田　賢一（(株)東芝）
古賀　昌史（(株)日立製作所）
濱本　将樹（シャープ(株)）
武　理一郎（(株)富士通研究所）
小川　雅嗣（日本電気(株)）
松田　雄馬（日本電気(株)）

研究費：物件費 28 万 8 千円，旅費 15 万 7 千円

［2］研究経過

情報処理は多面的・階層的な機能であるが、現在の情報処理様式である硬い論理と逐次処理による直列集約型情報処理がハードウェア技術の驚異的な発展にも支えられて、飛躍的に発達してきた。しかしこの方法では問題自身が曖昧であったり情報が不完全であったりする場合や、不測の事態が生じた時には対応が困難である。一方、生命システムはこれらの問題に対して柔軟な情報処理を行っており、この中心を担っているのがブレインである。ここで言うブレインウェアとはこの問題を解決する新しいパラダイムによる、ハードとソフトが融合した情報処理システムを意味している。

本共同プロジェクト研究では、取り扱う情報の質と量を飛躍的に向上させるために、生命システムのもつ多面的、階層的な情報原理を明らかにし、柔軟に情報処理が出来るブレインウェアのパラダイムに基づいたハードとソフトが融合した新しい情報処理システムの創成を目的としている。その目的を達成するため，生理学による知見（解析論的アプローチ）を踏まえ，ブレインウェアシステムの設計原理（設計論的アプローチ）を明らかにするため主として以下の四つの課題について研究を展開した。

1. 認識機能；記号表現の出来る明示的な処理形式に加え、状況理解のための文脈を取り入れた意味的な処理形式の研究。特に人間の視覚情などに基づく処理の解明と計算機への埋め込み。
2. 問題解決機能；多様な文脈処理が可能になるような情報表現と新しい情報の獲得が可能になる情報処理様式の研究。特にロバストなシステムの開発。
3. 行動機能；予測不可能的に変化する実環境に適応的に目的を達成する制御様式の研究。特に身体性を持つシステムにおけるブレインウェアとしての制御機能の解明。
4. 情報ベース；従来の検索エンジンと情報ベースに代わる、柔らかな推論が出来るエンジンと文脈依存的に分節化された情報ベースの研究。特に既存の処理システムとブレインウェアの連想記憶などの処理の協調による新たなベースの開拓。

これらを統合することで柔軟な情報処理の機能獲得方法を明らかにするとともに、これを実現する新しい人工物アーキテクチャの創成を目指した.

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究会開催実績：

・第１回　「情報共有技術とその周辺」（東北大学大学院　教授　橋本和夫）、「IT・ネットワーク融合を目指す次世代インターネット基盤と NEC の取り組み」（NEC システムプラットフォーム研究所　シニアエキスパート　田中淳裕）　2010 年 4 月 27 日、出席者　16 名（企業 7 名、大学 9 名）

・第２回　「動的システムとしての脳局所回路解明

とその技術開発」（東北大学大学院医学系研究科教授　虫明　元）、「因果構造に基づくスマートヘルスマネージメント技術への取組み」（オムロン技術本部　田崎　博）2010年6月29日、出席者23名（企業9名、大学14名）

・第3回　「昆虫に学ぶ羽ばたき飛行ロボット設計」（シャープ　研究開発本部　主事　濱本将樹）、2010年7月27日、出席者　15名（企業8名、大学7名）

・第4回　「インタラクティブコンテンツを実現する技術」（東北大学電気通信研究所　教授　北村喜文）、「部分空間法から相互部分空間法へ」（東芝　研究開発センター　技監　前田　賢一）2010年8月31日、出席者　17名（企業6名、大学9名）

・第5回　「大量・高速ICTから適切・的確ICTへ」（東北大学電気通信研究所　客員教授　矢野　雅文）、「文脈情報を用いる文字認識の研究と残されている課題」（日立製作所　技師長　藤澤浩道）2010年9月28日、出席者　16名（企業9名、大学7名）

・第6回　「将棋棋士の直感の脳科学的研究―専門家の脳に学ぶ運用技術」（富士通研究所　山川宏）、「C&Cクラウドとブレインウェア」（日本電気　主任研究員　小川雅嗣）2010年11月30日、出席者　11名（企業6名、大学5名）

・第7回　「不揮発性スピントロニクス素子／CMOS集積回路の最近の発展―ブレインウェアのハードウェアプラットフォームをめざして専門家の脳に学ぶ運用技術―」（東北大学電気通信研究所　大野　英男）、「嗅覚の脳科学研究と匂い情報通信の展望」（千葉大学大学院工学研究科　外池　光雄）2011年2月22日（予定）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

ブレインウェアシステム研究は、現在のノイマン型情報処理技術の延長でなく、人間の脳活動を取り入れた新しい情報産業を構築するため、基本となる基盤技術を確立することが責務である。そのため産学が一体となって、課題抽出行っている。

本研究では人に優しい新しい情報処理技術・産業を実現するため、基本となる基盤技術・要素技術の確立を目的とし、産学が一体となって課題抽出を明確にするため、定期的な研究会を開催し検討を実施している状況である。

・本研究に参加されている研究者から具体的な成果としては、(1)情報共有技術、(2)次世代インターネット技術、(3)脳局所回路解明、(4)匂い・嗅覚情報の入出力及び処理、(5)羽ばたきロボット、(6)インタラクティブコンテンツ技術、(7)相互部分空間法、(8)適切・的確ICT、(9)文脈情報を用いる文字認識技術、(10)直感の脳科学的研究、(11)クラウドとブレインウェア、(12)ブレインウェアのハードウェアプラットフォーム、(13)嗅覚の脳科学研究と匂いの情報通信などが報告された。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，マッチングファンドによる共同研究などの成立に発展した。また，本プロジェクトで明らかになったブレインウェアの成果は，脳型情報処理という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき，今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

1. M.Shimizu, A.Ishiguro,”Amoeboid locomotion having high fluidity by a modular robot”, International Journal of Unconventional Computing 6-2, pp.145-161, 2010
2. T.Umedachi, K.Takeda, T.Nakagaki, R.Kobayashi, A.Ichiguro, ”Fully decentralized control of a soft-bodied robot inspired by true slime mold”, Biological Cubernetics, 102-3, pp.261-269, 2010
3. 大脇　大、坂井善行、石田　怜、手老篤史、石黒章夫、”運動安定化と運動探索をシームレスに統合可能なマルチリズミックオシレータモデルの提案―一次元ホッピングロボットの跳躍運動への応用-“, 計測自動制御学会論文集46-9, pp.562-571
4. D.Owaki, S.Ishida, A.Tero, K.Ito, K.Nagasawa, A.Ichiguro, ”An oscillator model that enables motion stabilization and motion exploration by exploiting multi-rhythmicity”, Advanced Robotics 25-8, 9, 2011/02/03
5. 梅舘拓也、武田光一、中垣俊之、小林　亮、石黒章夫、”真正粘菌変形体から着想を得た自立分散制御方策の実験的検証”, 計測自動制御学会論文集, 46-11, pp.706-712, 2010
6. M.Endo, F.Matsukura, H.Ohno,”Current induced effective magnetic field and magnetization reversal in uniaxial anisotropy(Ga,Mn)As,” Applied Physics Letters,vol.97, pp.222501-1-13, 2010
7. H.Ohno, ”A window on the future of spintronics”, Nature Matrrial, vol.9

pp. 952-954, 2010
8. D. Chiba, F. Katsukura, H. Ohno, ”Electrically Defined Ferromagnetic Nanodots”, Nano Letters, vol. 10, pp. 4505-4508, 2010
9. S. Ikeda, K. Kimura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, H. Ohno, ”A perpendicular anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junction,” Nature Materials, vol. 9, pp. 721-725, 2010
10. R. nakamoto, S. Sakuraba, A. Matrins, T. Onomi, S. Sato, K. Nakajima, ”High Throughput Parallel Arithmeic Circuits for Fast Fourier Transform”, IEICE Trans. Electron, vol. E94-C, Mar, 2011/02/03
11. T. Onomi, Y. Maenami, K. Nakajima, ”Superconduting Neural Network for Solving a Combinatorial Optimization Problem,” IEEE Trans. Applied Superconductivity, 2011
12. R. nakamoto, T. Onomi, S. Sato, K. Nakajima, ”4-bit SFQ Multiplier Based on Booth Encoder”, IEEE. Trans. Applied Superconductiviti, 2011
13. A. Karashima, N. Katayama, M. Nakao, 2Enhancement of Synchronization between Hippocampal and Amygdala Theta Waves Associated with Pontine Wave Density, ” J. Neurophysiol, pp. 2318-2325, 2010
14. 幸島彰洋、片山統裕、中尾光之、“睡眠中の情報処理機構と神経回路網の再編成”, 睡眠療, 4pp. 469-475, 2010
15. A. Ohori, ”A proof theory for machine code”, ACM Trans. Program. Lang. Syst., 29, 6, 2007
16. 上野雄大、大堀 淳,”SML￥＃の外部関数インターフェース, コンピュータ, 27, 2, pp. 142-168, 2010
17. S. Takahashi, S. Ishikawa, T. Hyodo, Y. ohashi, Y. Shimpuku, K. Matsubara, K. Matsumiya, S. Shioiri, ”Control of subjective depth on 3-D displays by a quantified monocular depth cue”, Journal of the SID, 19, 1, pp. 1-8, 2011/02/03
18. S. Shioiri, K. Yamamoto, K. Oshida, H. Matsubara, H. Yamaguchi, ”Measuring attention using flash-lag effect”, Journal of Vision, 10, 10, article 10, pp. 1-13
19. Z. XXu, J. g. Lee, S. Masui, ”Self-Dithered Digital Delta-Sigma Modulators for Fractional-N PLL Synthesizers”, SSDM, pp. 339-340, 2010
20. T. Kashimura, T. Konishi, S. Masui, ”20 gm/ID Lookup Table Based Operational Transconductance Amplifier Design Feature Setting Time Optimization”, SSDM, pp. 341-342, 2010
21. H. Shirahama, T. Matsuura, M. Natsui, THanyu,”Energy-Aware Multiple-Valued Current-Mode Sequential Circuit Using a Completion-detection Scheme”, IEICE Trans. on Information and Systems, E93-D, 8, Aug., pp. 2080-2088, 2010
22. N. Onizawa, T. Hanyu,”Highly Reliable Multiple-Valued One-Phase Signaling for an Asynchronous On-Chip Communication Link”, IEICE Trans. on Information and Systems, E93-D, 8, Aug., pp. 2089-2099, 2010
23. D. Suzuki, M. Natsui, H. Ohno, T. Hanyu, ”Design of a Process-Variation-Aware Nonvolatile MTJ-Based Lookup-Table Circuit”, SSDM, K-9-4, Sep., pp. 1145-1147, 2010
24. N. Onizawa, T. Hanyu, ”A High-Throughput Protocol Converter Based on an Independent Encoding /Decoding Scheme for Asynchronous Network -on - Chip”, Proc. 43rd, ISCS, May, pp. 157-160, 2010
25. M. Hamamoto, Y . Ohta, K. Hara, T. Hisada, ”A Fundamental Study of Wing Actuation for a 6-in-Wingspan Flapping Microaerial Vehicle”, IEEE Trans. on Robotics, 26, 2, pp. 244-255, 2010

共同プロジェクト研究

採択回数　①　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ａ１４

ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究

［1］組織

代表者：　五十嵐 隆治
（秋田大学大学院工学資源学研究科）

対応者：北形 元
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
木下 哲男（東北大学電気通信研究所）
久米原 栄（群馬大学 総合情報メディアセンター）
上田 浩（群馬大学 総合情報メディアセンター）
玉本 英夫（秋田大学大学院工学資源学研究科）
奈須野 裕（苫小牧工業高等専門学校）
岩谷 幸雄（東北大学電気通信研究所）
横山 洋之（秋田大学大学院工学資源学研究科）
高橋 秋典（秋田大学大学院工学資源学研究科）
藤原 克哉（秋田大学大学院工学資源学研究科）
小原　仁（秋田大学大学院工学資源学研究科）
今野 将（千葉工業大学工学部）
矢入 聡（仙台高等専門学校）
打矢 隆弘（名古屋工業大学情報基盤センター）

研究費：物件費２３万９千円，旅費４万４千円

［2］研究経過

近年著しい勢いで進展しているインターネットはその速さと多様性において，電力や交通などの社会インフラと明確に異なっている。そのひとつは利便性の向上のスピードであり，特にモバイルを利用した旅行や各種イベントの予約，交通機関等を含めたいろいろな支払い，容易に個人が発信できるブログやツイッターなどはその好例であろう。

しかし安全，且つ快適なインターネット環境の維持は近年益々その困難さを増していて，地震等の異常時やヘビーユーザー参加時の QoS（サービス品質）の確保，ならびに DoS・DDoS 等の悪意あるアクセスをどのように検知し，また防止するのかは重要な検討課題となっている。これらを踏まえ本プロジェクトでは，ネットワーク上を疎通するトラフィックの適切な測定によりフロー異常を早期に検出し，この知見により有効にネットワークを利活用する方策を提示することを目的とした。

本プロジェクトは，これと関連する前年度までのプロジェクト（H19／A02　ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究）を踏まえ，より効果的なネットワークの利活用を目指すものである。

研究活動の概要は以下である。1 回目は仙台（東北大学電気通信研究所 2 号館）において平成 22 年 12 月 22 日（水）：15：00 より，五十嵐，木下，北形，岩谷，高橋，の 5 名による本プロジェクトの進捗状況報告会を，また 2 回目は平成 23 年 2 月 17 日（木），18（金）の二日間にわたり，群馬大学における光直収ネットワークの構築と運用に焦点を当てつつ久米原，上田，岩谷，北形，打谷の 5 名により研究会報告会を実施した。なお総括として「ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究」研究発表会を，平 23 年 3 月 17 日（木），13:30-17:25，東北大学電気通信研究所 2 号館 W301 室において，15 名の参加により実施する予定であったが，研究所自体が東北関東大地震の影響を被り開催不能となったため，中止の止むなきに至った。

［3］成果

（3－1）研究成果

第1はネットワーク帯域のアクティブ計測技術に関する成果である。代表的なアクティブ計測としては，Pathload，Pathchirp，IGI が知られているが各々長所，短所がある。パケットトレイン方式であるPathload,Pathchirpは,測定制度が良い反面,測定用のパケット量が増えるという短所があり,パケットペア方式である IGI は測定用パケットの量が少ない反面,測定精度が悪いという短所を呈する。本研究では可変長チャープパケットを用いる,ないしは異速度プローブトレインを用いる,という提案により，End-to-End 回線の可用帯域推定の改善提案を行い，所期の成果を得た。

第 2 はネットワークトラフィック特性の同定およびその応用によるトラフィック異常検知に関する研究である。パケットトラフィックが従来の通信路モデルで用いられているポアソン過程ではなく，ハーストパラメータ Hにより特徴付けられる2次の自己相似過程でのモデリングが妥当であることは既に知られている。しかし，日々の生活サイクルに応じたフロー変化,すなわちDiurnal Variation(日変化) を呈し，また悪意あるトラフィックが流入している実ネットワークでの精確なモデリングは単純ではなく,自己相似性をベースにしたトラフィック特性の検討は困難な側面も有している。このことを意識しつつ本研究では,数週に渡るトラフィック時系列の H を複数のタイムスケールで調査してみた。その結果フロー量と Hとの特徴的な相関を見出し,これによるトラフィック特性同定の可能性を見出した［4］－（1）。ハーストパラメータ Hは定常確率過程に適用される概念である。DoS・DDoS 等の悪意あるトラフィック流入時の時系列は非定常過程であるので,厳密には Hという評価量は適用できない。しかし異常流入，すなわち時系列上での変化点が現れる直前までは Hでの評価は妥当である。変化点前後の時系列は非定常過程であるが，H導出に用いる R/S 解析，特にこのとき用いられる Pox Diagram が自己相似過程のパラメータ導出手段を拡大したものと解釈すると，Hでの異常トラフィック評価には妥当性がある。この解釈の基でキャンパス規模のネットワークトラフィックの異常検知を試みた結果，CUSUM 法や適応閾値法より少ない誤検知率での検知を実現できた［4］－ (2)。このときの Hの変化はPox Diagram 上でのプロットの拡がりとして捉えていたが,異常トラフィックが方形波的であるか,ないしはパルス列パターンであるかによって拡がりは複雑な形態を示す場合があり,今後も踏み込んだ検討が必要であることも認識できた。

第3は,第1および第2の成果を踏まえつつ進めた研究で,ネットワーク上でのいろいろなアプリケーションを構築する際の検討に用い得た。そのひとつはキャンパス内光直収ネットワークの構築と運用に援用でき［4］－ (3)，また発展型エージェントシステムのための監視アーキテクチャの設計や大規模ダイナミック VLAN ネットワークにおける端末認証基盤の構築にも生かされた［4］－ (5) ～ (6)。

本プロジェクト以前から進めている AIR (能動的情報資源) を活用したネットワーク管理支援システム(AIR-NMS)にも上記の知見を取り入れた。AIR-NMS では，ネットワークの様々な状態情報や，管理者が有する多様なネットワーク管理知識を情報資源とみなし,それらの活用を支援する知識と機能をソフトウェアエージェントとして実装・付加することで,各情報資源へ能動性を与えている。これら能動化された情報資源が組織化・協調することにより，AIR-NMS は，ネットワークの様々な状態情報に基づき,多様な障害への具体的な対策案を管理者に提示することが可能となっている。本プロジェクトでは,AIR-NMS が必要とする多数のネットワーク管理知識を効果的に獲得・利用する方法を提案し，その効果を実験により評価を行った。異常検知手法は，不正検知手法に比べ検知精度が低いため,複数の異常検知手法を組み合わせた研究が多く存在する。特定の異常検知手法を組み合わせた手法は存在するが,管理者が自由に異常検知手法を組み合わせて運用することは困難である。用いる情報資源が異なるため,相互に協調連携させて運用することが難しく管理者にかかる負担が大きい。本プロジェクトでは,複数の異常検知手法におけるネットワーク管理の自動化による管理者の負担軽減を目的として,複数の異常検知手法の協調的分析機構を提案し,これら能動的情報資源に基づく手法の有効性を示した［4］－ (7) ～ (9)。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究は 7 機関が連携しネットワークトラフィックデータの収集ならびに解析を進めつつ,ネットワーク管理支援システム構築にも生かそうとしているプロジェクトである。本プロジェクト実施年度では各機関および学外研究者との交流が活発となり，多数の学部生・大学院生のコミットにより，若手研究者の育成に資するものともなった。また他の統計的手法と比較検討した，R/S Pox Diagram の拡がりに基づくトラフィック異常検知法や,知識情報に基づくネットワーク管理支援システムの発展的提案は国際会議において発表することができた。

［4］成果資料

（1） 近藤 大智, 奈須野 裕, 上田 浩 , 高橋 秋典, 五十嵐 隆治 , 岩谷 幸雄 : 情報通信トラヒックの自己相似性の解析に関する研究, 平成 22 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 122（札幌, 10 月）, 2010.

（2） Akinori Takahashi, Ryuji Igarashi, Hiroshi Ueda, Yukio Iwaya and Tetsuo Kinoshita : Network Anomaly Detection Based on R/S Pox Diagram, lnt. J. Soc. Mater. Eng. Resour., Vol.17, No.2, pp.186-192, 2010.

（3） 上田 浩, 井田 寿朗, 青木 正文, 齋藤 貴英, 酒井 秀晃, 伊比 正行, 高橋 仁, 船田 博, 矢島 正勝, 久米原 栄 : キャンパス内光直収ネットワークの構築と運用, 学術情報処理研究, Vol.14, pp.56-63, 2010.

（4） 金子智哉, 打矢隆弘, 内匠逸, 発展型エージェントシステムのための監視アーキテクチャの設計, 第 9 回情報科学フォーラム講演論文集, 2010.

（5） 打矢隆弘, 松井俊浩, 齋藤彰一, 内匠逸, 松尾啓志, 大規模ダイナミック VLAN ネットワークにおける端末認証基盤の構築, 平成 22 年度情報教育研究集会講演論文集, 2010.

（6） Takahiro Uchiya, Tetsuo Kinoshita, Design and Implementation of Repository-Based Agent Organization Method on Heterogeneous Agent Platform : Proc. of 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, pp.772-779, 2010.

（7） Kazuto Sasai, Naoyuki Tanji, Yusuke Takahashi, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita : ″An Architecture of Extended Network Management System: Autonomous Cooperation between Knowledge Resources and Network Equipments″, Proc. 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp.617-622, 2010.

（8） Yusuke Takahashi, Daisuke Misugi, Akira Sakatoku, Akihiro Satoh, Akiko Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Toru Abe, Tetsuo Kinoshita : Knowledge Oriented Network Fault Resolution Method Based on Active Information Resource, Proc. 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, pp.361-364, 2010.

（9） Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita : Multiagent Architecture of Knowledge based Network Management Support System, Proc. 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, pp.782-787, 2010.

共同プロジェクト研究

採択回数　①　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ａ１５

利用者適応型コミュニケーション技術のための利用者の注意と情動モデルの確立とその応用

［1］組織
代表者：今宮　淳美
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
対応者：菅沼　拓夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
北形　元（東北大学電気通信研究所）
郷 健太郎（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
小俣 昌樹（山梨大学大学院医学工学総合研究部）

研究費：物件費 23 万 6 千円，旅費 33 万 1 千円

［2］研究経過

情報システムを利用する人間とコンピュータとの対話および人間と人間との対話において，言語を超えるスーパーコミュニケーションを実現するためには，利用者適応型コミュニケーション技術を確立することが重要である。利用者適応型コミュニケーション技術は，利用者の個性・文化に応じて感情・感性を適切に伝達する技術のことである。現在のところ国内外ともに本格的な研究は未着手な状況であるが，今後のインターネットサービス，ソフトウェア産業，およびe-ラーニングなどにおいて，ますます重要視されることが予想される。

本研究の目的は，利用者適応型コミュニケーション技術の中で，人間の注意レベルと情動を様々な生体信号から識別する方法を確立することである。具体的には，脳血流，視線，皮膚電気活動，脈波などを利用して，人間がどこへどの程度注意を払っているのか，また，そのときどのような情動が発生しているのかを定量化する。

平成 22 年度は，この基礎研究として，生体情報と感情との関係および生体情報と五感刺激との関係を中心に，以下の 3 つのフェーズで研究を進めた。

（1）　生体情報と感情との関係の解明
（山梨大学）

一般的なペイントツールで感情を表現する場合，ユーザは表現したい色をパレットから選んでキャンバスに描き始める。描きながらそのときの感情を筆の色に反映させるためには，いったん描くことを止めて，色を変更しなおさなければならない。本研究では，ユーザが描きながらそのときの感情を自動的に色へ反映できるツールを提案する。これは，描画中のユーザの生体信号から 2 次元感情モデルにおける感情価・覚せい度を識別し，描画している色の明度と彩度へ対応付けるツールである。

このために，感情と顔の筋電図および手指の皮膚伝導率との関係を実験的に調査し，ツールへの入力とするためのモデルを検証する。

（2）　生体情報と五感刺激との関係の解明
（山梨大）

本研究では，図１のような，コンピュータユーザの生体情報をそのユーザのアウェアネスの検出に利用することを提案する。このシステムは，メッセージの重要度にあわせて，五感のどの感覚器官に提示するのかを調整する。そして，ユーザの生体情報から，ユーザがそのメッセージを知覚しているか否かを自動的に判断し，知覚されていないようであれば，より知覚されやすい感覚器官や複数の感覚器官へ提示することで，ユーザがメッセージを気づかなかったり忘れてしまったりすることを回避する。

このようなアウェアネスのための五感刺激と生体情報との関係については，まだ十分に検証されていない。生理心理学の見地から，生理指標と人間の心身状態との関係は明らかにされてきているが，刺激を提示する感覚器官の違いや刺激の種類の違いにおける生体情報の変動の違いについての五感に渡った網羅的な検証は不十分である。

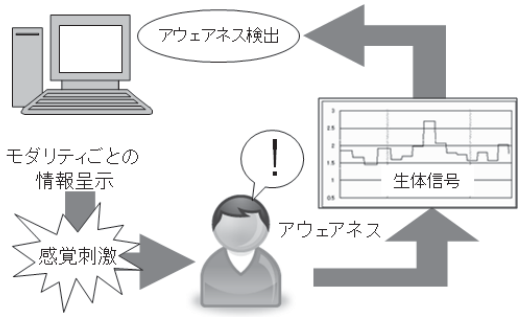


図2 生体情報によるアウェアネス検出システムの概念図

このために，実験を通して，五感刺激と生体情報との関係を検証する。

（3） 利用者の状況に適応する分散型情報表示システムの構築

（東北大学電気通信研究所＋山梨大学）

本研究では，共生型支援システムの実現に向けて，現実空間からの効果的なデータの獲得方法を検証する。従来の健康支援システムでは，体調の変化を即応的に検出することが困難であり，心臓病や脳血管病などの突然の体調の異常に対応できないといった課題がある。また，ユビキタス情報環境課では，機器の性能や無線ネットワークの帯域が限定的であるため，利用者数が増加するとデータを効果的に獲得することが困難であるという課題がある。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

- 平成22年度 研究会
  - 日 時：平成23年 2月10日14:00〜
  - 場 所：東北大学電気通信研究所
  - 参加者：
    菅沼拓夫（東北大学），
    北形 元（東北大学），
    野口博司（東北大学），
    今宮淳美（山梨大学），
    小俣昌樹（山梨大学），
    嘉糠大輔（山梨大学），
    長沼 亮（山梨大学），
    田中竜太（山梨大学），
    宮崎雄宇（山梨大学），
  - 研究発表内容：
    ① 生体信号による感情分析と描画ツールへの応用（山梨大 嘉糠）
    ② 探索時の触覚の利用が探索対象の見落とし抑制に与える影響の検証（山梨大 長沼）
    ③ リモコンの傾きを用いた片手日本語入力手法（山梨大 田中）
    ④ 脳波によるデバイスへの「慣れ」の評価（山梨大 宮崎）
    ⑤ 地域防災SNSを支援する情報システム ― 写真・経路記録システムと大画面掲示システム ―（山梨大 小俣）
    ⑥ 共生型 3 次元仮想空間における共生感提供機能に関する研究（東北大 野口）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，ユーザの生体信号に連動して色の明度と彩度が変化するお絵描きツールを開発した（図2参照）。これは，顔の筋電位から得られる感情価と，手の皮膚伝導率から得られる覚せい度を識別し，ユーザの描いているストロークを色の彩度と明度へ反映させるツールである。本提案ツールと時間経過で無作為に色の明度と彩度が変化するツールを皮膚伝導率で比較した結果，本提案には有意な増加が見られ，覚せい度が上がったことがわかった。つまり，生体信号から推定される感情を対応付けるほうが，覚せい度に影響し，感情の強さが表現できるということがわかった。

第2に，五感刺激と脈波・呼吸・皮膚伝導率との間には，刺激の種類によって変化しやすい生体情報と変化しにくい生体情報があることを解明し，五感刺激の種類に応じてアウェアネスを検出できる可能性を示した（表1）。さらに，傾向と個人差の検証実験の結果，被験者全体として，同じ刺激に対して同じ傾向の変化を示すことがわかった。また，この傾向の程度には個人差が見られるが，味覚や触覚に関しては，個人差にかかわらず生体情報が強く反応することがわかった。すなわち，現在のところ，味覚刺激を提示するシステムの実現には困難な点が多いが，触覚刺激への気づきを有効に利用するシステムを実装することが重要であると考えられる。反対に，

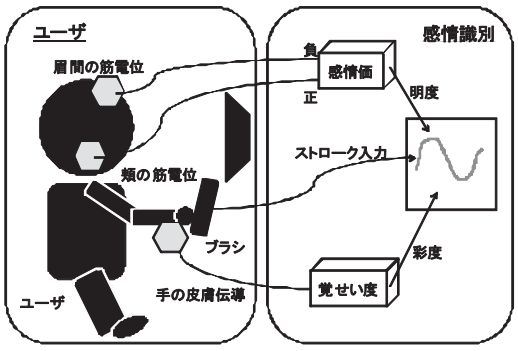


図1 お絵描きツールの構成

表1　五感刺激と生体情報との関係

生体情報	視覚	聴覚	触覚	嗅覚	味覚
脈波	△	△	○	－	○
呼吸	－	△	－	○	○
皮膚伝導率	－	－	○	－	○

弱い反応を示す嗅覚刺激は，「さりげなく伝える」モダリティへの情報として有用であると考えられる。

第３に，多人数の対象者の健康状態を効果的に見守る共生型健康支援システムを開発した。本システムでは，データストリームマイニング技術に基づく観測対象者の状態推定により，使用センサおよび情報獲得頻度を調整することでセンサネットワークの効果的な利用を実現した。プロトタイプシステムによる実験により，利用者数が増加してもセンサデータを効果的に獲得可能であることを示した。

第４に，現実空間と仮想空間を感覚的に融合することで，両空間の利用者間のコミュニケーションを促進する共生型３次元仮想空間システムを開発した。本システムは，現実/仮想連携機能を中核とした「3次元仮想空間システムの共生型アーキテクチャ」と，現実空間と仮想空間の利用者に空間共有の感覚を与える「共生感提供機能」により構成される。これらによりサービスの品質を低下させることなく現実空間のセンサと仮想空間システムを効果的に連携させることができた。実験結果から本システムにより利用者の空間共有の感覚が高められたことを示した。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトの波及効果として，感情の覚せい度・感情価モデルと生体信号との関係がわかると，人間の生体信号から感情を予測することが可能になり，感情チャネルを伴うスーパーコミュニケーション環境の基盤技術として適用可能になると考える。また，感情や情動を定量化できるようになると，「見守る支援システム」において，見守られる人の詳細な状態を情報処理することのできる新たなシステムを提供できるようになると考える。

［4］成果資料

（1）　小俣昌樹，堀内沙織，今宮淳美，茅暁陽，“生体情報によるアウェアネス検出のための五感刺激と生体情報との関係の分析，”日本バーチャルリアリティ学会論文誌，第 15 巻，第 4 号，pp.553-562, 2010.

（2）　Masaki Omata, Kei Ogasawara, Atsumi Imamiya, “A Project Restarting Support System Using the Historical Log of a User’s Window Usage,” Proc. of OZCHI 2010, pp.25-32, 2010.

（3）　嘉糠大輔，小俣昌樹，今宮淳美，茅暁陽，“感情に連動して色が変化するお絵描きツール，”日本バーチャルリアリティ学会論文誌、，第 15 巻，第 3 号，pp.479-482, 2010.

（4）　小俣昌樹，菊井則和，郷健太郎，今宮淳美：“視覚的探索タスクにおける触力覚効果の検証，” FIT2010, J-059, 2010.

（5）　鈴木猛康，大山勲，秦康範，小俣昌樹，“地域 SNS 減災情報システムへの世帯個人情報登録，”地域安全学会論文集，No.13，pp.443-452, 2010.

（6）　Taishi Ito, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, “Design of Adaptive CommunicationMechanism for Ubiquitous Multiagent System,” Journal of Information Processing, Vol.18, No.18, pp.175-189, 2010.

（7）　Hideyuki Takahashi, Kazuhiro Yamanaka, Satoru Izumi, Yoshikazu Tokairin, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, “Gentle Supervisory System based on Integration of Environmental Information and Social Knowledge,” International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol.6, No.2, pp.229-247, 2010.

（8）　Satoru Izumi, Yusuke Kobayashi, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, and Norio Shiratori, “A knowledge filtering scheme using sensor data for symbiotic healthcare support system,” 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI2010), pp.619-624, 2010.

（9）　Yusuke Kobayashi, Satoru Izumi, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, and Norio Shiratori, “An effective acquisition scheme of sensor data in sensor network for healthcare support,” 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI2010), pp.611-618, 2010.

（10）　Hiroshi Noguchi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, “Perceptual Integration of Real-Space and Virtual-Space Based on Symbiotic Reality,” 1st International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS2010), 2010.

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２２／Ａ１６

採択回数	①　２　３

共生コンピューティングに基づく実世界指向アプリケーションの高度化に関する研究

［１］組織

代表者：藤田　茂
（千葉工業大学情報科学部）

対応者：菅沼　拓夫
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
菅原　研次（千葉工業大学情報科学部）
木下　哲男（東北大学サイバーサイエンスセンター）
宮本　俊光（宮城県工業高等学校）
原　英樹（千葉工業大学情報科学部）
今野　将（千葉工業大学工学部）
北形　元（東北大学電気通信研究所）
打矢　隆弘（名古屋工業大学大学院工学研究科）
真部　雄介（千葉工業大学情報科学部）

研究費：物件費２５万１千円，旅費２４万４千円

［２］研究経過

情報システムの発達と普及に伴い，実世界の情報を速やかに情報システムに反映させ，また情報システムの側から，利用者に対して速やかにサービスを提供することで，情報システムの利用に精通したエキスパートのみならず，一般利用者にもそれぞれに応じたサービスを提供することが可能になる，実世界指向アプリケーションへの期待が高まっている．また，これら実世界指向アプリケーションの連携によって，新しい情報システムを生み出すことが期待されている．現実世界をモデル化し，それぞれが個々にサービスを提供しようとした結果構成される人と情報システムを含んだ系の振る舞いは，情報システム設計時には動作予測が困難であり，実世界指向システム自体の高度化が求められている．

本研究の目的は，実世界指向アプリケーションの高度化のために，人と情報システムの共生を動作モデルとして導入した共生コンピューティング技術を研究開発することである．

本研究の概要：本研究では，実世界指向アプリケーションの高度化を実現した情報システム環境を試作し，情報システムの側に，利用者とその利用者の周囲の環境情報を取り込むことから開始した．これまで既存情報システムがそれぞれのサービスを実現するためにデータを取得蓄積することが行われてきたが，それぞれのデータがそれぞれの情報システム固有の形式で保存されるために，実世界指向アプリケーションの連携実現が困難であったためである．本研究では取り込んだデータを情報システムの側に取り込むためのシステムを開発し，高度な実世界指向アプリケーションを開発するために，人間にとって理解容易な形式に変換し提示するための基盤技術を研究した．また，利用者の周囲の環境情報のみならず，情報システム自体の情報が情報システムの側で利用されていないという問題（例えば，CPU 温度の上昇により，計算機によっては自動シャットダウンが実施されるが，温度上昇警告が情報システム側で把握されることは少なく，計算機管理者または専用管理アプリケーションによってのみ利用されている）を解決するために，情報システム自体の動作状態や他の情報システムの状態を利用者の環境情報と同様に情報システムの側に取り込むシステムを開発する．

上述のシステムを開発した結果蓄積されるデータを基に実世界指向アプリケーションが，利用者と情報システムの状況を推定するために必要な実験環境の検討を行い，共生コンピューティングに基づく高度な実世界指向アプリケーションに必要な計算機環境とセンサー/アクチュエータの仕様を明らかにする．この仕様に基づいて，実世界指向アプリケーションを設計開発し，人間と情報システムの共生に基づく設計モデルと実世界指向アプリケーションの制御機能を開発し基盤技術として利用可能な形式を定める．

これにより実世界指向アプリケーションの利用経験から，共生コンピューティング技術を用いて，新たな情報社会を支えるシステムとソフトウェアの創生のために必要な機能要件を明らかにする．

平成 22 年度は，このための基礎研究と評価実験として以下の項目を実施した．

（1） 研究室内における人間の行動の取得
（千葉工業大学）
カメラやマイクにより情報取得を行い，画像処理，音声認識を行うことで，研究室内の行動取得が行えるであろうことは想像に難くない．一方で，高レベルの個人情報として映像と音声が記録されることは，研究室内の利用者にとって心理的ストレスである．この課題を解決するために，ドアに二種類のセンサーを設置し，利用者に心理的ストレスを与えない実験環境の構築を試みる．これにより，ドアの開閉速度とドアノブの回転速度を蓄積し，研究室入退出時の状況のみならず，他の研究室内センサーとの連携による利用者の動線解析等の人にとって理解容易な高度な形式に変換することを狙う．

（2） センサーのエージェント化
（東北大学）
研究室内のような屋内環境のみならず，屋外を対象とした無線システムとセンサーの組み合わせによる無線センサーノードが登場してきている．これら無線センサーノードを効果的に利用し，高度な実世界指向アプリケーションを開発するためには，センサーデバイス，電源などのセンサーノード構成要素の状態監視，センサーから得られる値の取得及び送信間隔の調整，他の無線センサーノードとの協調動作を行う必要があり，これらを統一的に提供するためのベースウェアを研究開発する．

（3） パーソナライズ手法
（東北大学）
「いつでも・どこでも」サービスを受けられるというモバイル研究から，「だれでも・いつものように」サービスが受けられるという実世界指向アプリケーション構築のために，利用者のプライベートな情報を積極的に活用することが必要である．しかし，個人のプライベートな情報を従来の情報ネットワーク上で流通することには，利用者の心理的抵抗とシステム開発者側の情報流出への懸念が大きく現実的ではない．このため，遍在する情報端末を利用するサービスにおいて，プライベート情報安全な交換を実現する基盤技術を研究開発する．

（4） 健康支援システムを例とするセンサー利用
（東北大学）
様々なセンサーによって多種多様な情報が情報システムの側に蓄積されるが，多人数を対象とした場合，限定された資源のなかで，安定して現実空間から情報を獲得する仕組みが必要である．また，その蓄積された情報から効果的にサービスを提供する仕組みが必要である．このため，センサーデータを用いて，効果的なサービスを提供するために，データストリームマイニング技術とセンサーデータの知識フィルタリング手法を研究する．

（5） オープンソースプロジェクト調査
（名古屋工業大学）
本研究の範囲の全てを新規に開発することは困難であり，適切なオープンソースプロジェクトから利用可能な機能を採用することが必要である．このために，機械学習ライブラリと分散計算環境についての調査を実施する．

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す．

- 平成 22 年度研究会
- 日時：平成 22 年 10 月 2 日 14:00～
- 場所：東北大学電気通信研究所
- 参加者：
  菅沼　拓夫（東北大学）
  菅原　研次（千葉工業大学）
  北形　　元（東北大学）
  和泉　　諭（東北大学）
  伊藤　大視（東北大学）
  金子　智哉（名古屋工業大学）
  打矢　隆弘（名古屋工業大学）
  奥村　文雄（名古屋工業大学）
  藤田　　茂（千葉工業大学）
  潮田　達也（千葉工業大学）
  宇都宮拓之（千葉工業大学）
  真部　雄介（千葉工業大学）
  原　　英樹（千葉工業大学）
  今野　　将（千葉工業大学）
- 研究発表内容：

① 大規模データの分散処理プラットフォーム Hadoop の導入事例について（名工大　金子，打矢）
② 機械学習ライブラリ Mahout の導入事例について（名工大　奥村）
③ 辞書とラッパー自動生成を用いたウェブページからの情報獲得手法（千葉工大　潮田）
④ 室内画像からの動体分離法（千葉工大　宇都宮）
⑤ 実世界指向アプリケーションのためのパーソナ

ライズ手法（東北大　北形）
⑥ シンボルグラウンディング問題としてのコンテキストアウェアシステム（千葉工大　真部）
⑦ ドアセンサに関する研究（千葉工大　原）
⑧ 実世界指向アプリケーションのためのセンサの効果的な利用について（東北大　和泉）
⑨ センサのエージェント化に関する基礎的検討（東北大　伊藤）
子ども見守り支援システムの現状(千葉工大　今野)

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，利用者にストレスを与えない受動的センサーによる情報獲得が可能であることを示し，センサーノードのためのミドルウェア設計を行い，パーソナル情報を個人との関係を隠ぺいして提供可能であることを確認し，実世界指向アプリケーションとしての健康支援システムの試作と評価を行った.

（3－2）波及効果と発展性など

本研究の波及効果として，共生コンピューティングに基づく子供の見守りシステムなど，社会的要請の高い安心・安全にかかわる情報システムを，コンテキストアウェアネスシステムとして設計開発可能であると考えられる．また，人の意図を推定する機構を内包することから，より人に寄り添うような支援システムの構築が可能になると考えられる.

［4］成果資料

（1）Tatsuya Ushioda, Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, "An Extraction Method to Get a Municipality Event Information," International Conference on Computational Science and Its Application, pp.128-137, 2010
（2）Alexis Koutero, Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, "Design of an Assisting Agent Using a Dynamic Ontology," 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp. 611-616, 2010
（3）Masaho Yamashita, Hiroyuki Utsunomiya, Shigeru Fujita, "User Awareness Detection in the Room with Multiple Sensor Device, 13th International Conference on Network-Based Information Systems, pp. 420-423, 2010
（4）Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, Cloud Moulin, and Jean-Paul BARTES , "The Design of Awareness and Operation Module for the Symbiotic Applications," 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI 2010)
（5）Hiroyuki Utsunomiya, Shigeru Fujita, "Moving Object Detection by a Ghost Cancel Method on Indoor Images," Fifth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, 2010, to appear, November 4-6, 2010, Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka, Japan
（6）Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, An OWL-based Ontology to Represent Knowledge about Location, Space and Perceputual Primitives, Fifth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, 2010
（7）Hiroshi Noguchi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Perceptual Integration of Realspace and Virtualspace based on Symbiotic Reality., Proc. of the 1st International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS-2010),(2010)
（8）Hideyuki Takahashi, Kazuhiro Yamanaka, Satoru Izumi, Yoshikazu Tokairin, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, Gentle Supervisory System based on Integration of Environmental Information and Social Knowledge., International Journal of Pervasive Computing and Communications,6(2),(2010),pp. 229-247
（9）Satoru Izumi, Yusuke Kobayashi, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, A Knowledge Filtering Scheme using Sensor Data for Symbiotic Healthcare Support System., Proc. of 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI2010),(2010),pp. 619-624
（10）Yusuke Kobayashi, Satoru Izumi, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, Norio Shiratori, An Effective Acquisition Scheme of Sensor Data in Sensor Network for Healthcare Support., Proc. of 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI2010),(2010),611-618

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

採択番号　Ｈ２０／Ｂ０２

高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用

［1］組織

代表者：櫛引　淳一
（東北大学大学院工学研究科）

対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）

分担者：

中村僖良（PDT ラボラトリー）
金井　浩（東北大学大学院工学研究科）
安達正利（富山県立大学工学部）
宇野武彦（神奈川工科大学工学部）
黒澤　実（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
小松隆一（山口大学大学院理工学研究科）
近藤　淳（静岡大学創造科学大学院ナノマテリアル部門）
関本　仁（首都大学東京理工学研究科）
高野剛浩（東北工業大学工学部）
竹中　正（東京理科大学理工学部）
中川恭彦（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
橋本研也（千葉大学大学院工学研究科）
広瀬精二（山形大学大学院理工学研究科）
深海龍夫（信州大学工学部）
宝川幸司（神奈川工科大学工学部）
山田　顕（東北学院大学工学部）
若月　昇（石巻専修大学大学院理工学研究科）
鹿田真一（独立行政法人産業技術総合研究所ダイヤモンド研究センター）
江口　治（京セラキンセキ）
門田道雄（村田製作所）
木村悟利（日本電波工業）
佐藤良夫（太陽誘電）
芝　隆司（日立メディアエレクトロニクス）
舩坂　司（セイコーエプソン）
谷津田博美（日本無線）
山下洋八（東芝リサーチコンサルティング）
小田川裕之（熊本高等専門学校）

研究費：物件費 5万円，旅費６８万円

［2］研究経過

本研究会は、次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価、更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い、研究・開発を進めることを目的に行われている。本年度は平成２３年１月３１日、２月１日の両日、東北大学工学部青葉記念会館を会場に、「圧電材料・デバイスシンポジウム2011」と題する公開シンポジウム形式で行われた。プロジェクト研究メンバーの他、一般からも講演を募り、富山県立大学の安達正利氏による「ランガサイト系圧電単結晶の現状とその動向」と情報通信研究機構の松村武氏による「集積化圧電ＭＥＭＳフィルター携帯型コグニティブ無線端末の実現を目指してー」と題する招待講演２件を含む計３２件の研究発表が行われた。参加者は１０３名であり活発なシンポジウムとなった。各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである。

(A) トランスデューサ: 位相共役法による厚みモード集束超音波トランスデューサの不均一振動の解析、超音波治療用アレイトランスデューサのための呼吸振動モード球殻形状圧電素子、金属接合技術による超音波トランスデューサの作製とその超音波計測への応用についての発表があった。

(B) 圧電・強誘電材料: ランガサイト系圧電単結晶の現状とその動向に関する招待講演に続いて、人工水晶育成における溶液対流について、$Bi_4Ti_3O_{12}$-$SrBi_4Ti_4O_{15}$ 系混合ビスマス層状構造強誘電体セラミックスのハイパワー圧電特性、PZT 系多成分ペロブスカイト薄膜の微細構造と強誘電特性についての発表があった。

(C) 薄膜: 直線集束ビーム超音波材料解析システムによるガラス多層膜の評価、高周波スパッタリング法により作製されたアモルファス Ta_2O_5 薄膜の音響特性評価、高周波スパッタリング法による高配向 Ta_2O_5 圧電性薄膜の作製と評価、LFB 超音波材料解析システムによるマイクロ波プラズマ CVD 多結晶ダイヤモンド膜の評価についての発表があった。

(D) アクチュエータ: 弾性表面波モータの効率の評価、二層型圧電振動子の作成と非線形超音波を用いたボルト締結状態評価への応用、セルフセンシングによる圧電アクチュエーターの高分解能制御についての発表があった。

(E) 弾性表面波: $LiTaO_3$ 基板を用いた SAW 共振子の Q 改善、高周波広帯域共振子とチューナブルフィルタへの応用、広帯域 SAW 共振子の導波路解析 －不要横モード抑圧への応用－、SiO_2/Al/$LiNbO_3$ 構造

共振器の横モードスプリアス抑圧技術、位相器構造一方向性すだれ状電極を用いた広帯域・低損失フィルタの解析についての発表があった。
(F) 計測・評価: 圧電すべり波振動子を用いた粘弾性測定装置の開発とその応用、サブハーモニック超音波フェーズドアレイによる閉口き裂の映像と解析、超音波マイクロスペクトロスコピー技術による GaN 単結晶の音響特性評価、超音波マイクロスペクトロスコピー技術による合成石英ガラスインゴットの均質性評価についての発表があった。
(G) バルク波・薄膜デバイス: 集積化圧電 MEMS フィルター携帯型コグニティブ無線端末の実現を目指してーと題する招待講演に続いて、PLZT の屈折率メモリによる光スイッチの基礎的検討、c 軸平行配向 AlN 薄膜を用いた極性反転すべり共振子、β 相水晶による高温用圧電振動子の最適方位の検討、Twin-T 型複合水晶共振回路での実効 Q 値改善の一方法についての発表があった。
(H) センサ: 横波型弾性表面波を用いた直接メタノール燃料電池用センサ、ボール SAW センサによる極性ガスの高感度測定、環境計測のためのボール SAW ガスクロマトグラフシステム、c 軸平行配向 ZnO 膜/非圧電性基板構造における SH-SAW の電気機械結合係数およびセンサ応用の検討についての発表があった。

［3］成果

（3−1）研究成果

トランスデューサの関連では、HIFU 用の凹面トランスデューサの不均一振動を引き起こす円周部から中心に向かって伝搬する波は音源の非電極部の幅を選択することによって抑制できることを明らかにした。超音波治療用アレイトランスデューサを構成する新規構造の呼吸振動モード圧電素子を提案した。金属拡散接合技術ならびに精密研磨技術を利用して、動作中心周波数 200、450 MHz の横波超音波デバイスの作製に成功した。

圧電・強誘電材料の関連では、LTGA の全ての誘電・圧電・弾性定数とそれらの温度係数を UMS 技術及び共振-反共振法で正確に求め、(14°, 149°, 37°) に有用な伝搬方向が存在することを明らかにした。数値計算から鉛直円筒形オートクレーブ内の熱対流はバッフルで仕切った上下でそれぞれ循環していることを明らかにした。BIT-SBTi セラミックスに Mn を添加することで大きな機械的品質係数が得られ非鉛超音波ハイパワーデバイス材料としての有用性を示した。PMnN-PZT 単結晶薄膜は圧電特性がバルク並みで誘電率が小さいため高効率発電用圧電材料として期待されることを明らかにした。

薄膜の関連では、SiO_2/Ti_2O_5 ガラス多層膜に対して熱処理による膜厚変化を漏洩弾性表面波(LSAW)の速度変化として捉えた。アモルファス Ta_2O_5 薄膜/128°YX-$LiNbO_3$ 構造に対する SAW の位相速度分散および伝搬減衰は LSAW のそれと概ね一致するため成膜プロセス評価に利用できることを示した。高周波スパッタリング法による高配向 Ta_2O_5 圧電性薄膜を作製し 1.7 GHz 共振で、k_t^2=7.0%、アドミタンス比 3.0 dB の圧電膜が得られた。マイクロ波プラズマ CVD 法により(001)Si 基板上に成膜した多結晶ダイヤモンドの結晶構造、内部応力の影響を LSAW 速度・減衰の変化として捉えることに成功した。

アクチュエータの関連では、弾性表面波モータの変換効率評価を行い、予圧と駆動電圧の調整で最大効率 11%を得た。二層型圧電振動子のナット側面での超音波送受波により締結状態のボルトから発生する２次高調波を検出し締結状態評価の可能性を示した。圧電バイモルフの２つの圧電素子を流れる電流差分を検出することで外部センサを用いない高精度セルフセンシング圧電アクチュエーターを実現した。

弾性表面波の関連では、$LiTaO_3$ 基板に Cu 電極を埋め込みその上に Al 電極を形成することで、従来構造と同程度の共振 Q1100 と従来構造より 370 高い反共振 Q1000 を得た。Cu 電極埋込 4°YX-$LiNbO_3$ 1.8GHz 帯共振子と可変容量を用いたバンドパス型可変フィルタを作製し周波数領域で 6.8%の可変量のフィルタを実現した。Cu 電極/15°YX-$LiNbO_3$ 構造 SAW 共振子の不要横モード抑圧手法を検討し、重み付けダミー電極設計の解析手法を提案した。SiO_2/Al/$LiNbO_3$ 構造共振器の横モードスプリアスの表面観察を行い、SiO_2 膜を IDT 電極上にのみ形成することで抑圧できることを示した。位相器構造一方向性すだれ状電極を用いることで、位相直線、広帯域角形、低損失のフィルタが得られることを理論的に示した。

計測・評価の関連では、圧電すべり波振動子を用いた小型・低コスト・ディスポーザブルな粘弾性測定装置を開発した。PZT アレイを送受信に用いる単一アレイによる共焦点サブハーモニック超音波フェーズドアレイき裂評価装置を開発し粒界散乱の著しいステンレス鋼の応力腐食割れの選択的映像化に成功した。超音波マイクロスペクトロスコピー(UMS)技術を用いて、HVPE 法により作製された GaN 単結晶の基礎音響特性を測定し、作製法に起因した残留歪みを捉えた。UMS 技術による合成石英ガラス評価において、縦波音速で仮想温度を、LSAW 速度で残留応力を評価できる可能性を示した。

バルク波・薄膜デバイスの関連では、携帯型コグニティブ無線端末の実現を目指した集積化圧電 MEMS フィルタとして薄膜転写技術を用いた LSI

基板上への集積化マルチバンドフィルタの構造と作製プロセスの現状と展望について解説した。電圧ゼロで異なる２つの光特性値を有する電気光学材料PLZTの屈折率メモリ効果の原理の実証を行い光スイッチ応用への有用性を示した。成膜中にイオン照射する場合と低エネルギーイオンを照射する場合でc軸平行配向／垂直配向のAlN薄膜を積層し極性反転すべり共振子を実現した。β相水晶により1300℃付近の高温領域まで圧電共振を観測し、30ー35°回転Y板(ATカット)が誘電損失と電気機械結合係数が良好であることを示した。Twin-T型複合水晶共振回路において２つの印加電力に互いに異なる位相差を与えることでNull周波数の実効Q値を改善できることを示した。

センサの関連として、36°YX-$LiTaO_3$を用いたSH-SAWセンサは直接メタノール燃料電池用のメタノール水溶液センサとして利用できることを浸漬試験や温度特性評価から実証した。軸外スピンコート法による有機感応膜の作製と基板表面の親水化処理によりボールSAWセンサを用いたppbオーダーの高感度極性ガス測定を実現した。エッチングと拡散接合により作製した金属MEMSカラムを備えたボールSAWガスクロマトグラフシステムにより、天然ガス成分、揮発性有機化合物、極性ガスの分離検出に成功した。ZnO膜(0°,90°,ϕ)/IDT/石英基板構造におけるSH-SAWの励振に成功し、ϕ=60°において最大（K^2=2.2%）となることを理論的・実験的に明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を母体として開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は、圧電材料を主題として、材料探索、作製、評価、デバイスへの応用と、それぞれ第一線の研究を包括的に討論できる数少ない場として高く評価されている。発表論文が他の学術誌で引用されており、当該分野での主要な研究集会の一つとして認知されるに至った。関連分野で活発に研究を進めている研究者が集って発表と討論を行うことで、密接な情報交換と研究協力がなされ、次世代の圧電デバイスの研究・開発を効果的に進展させ、我が国が引き続きこの分野で世界をリードするうえで本プロジェクト研究会は大きく貢献したと考えている。今までの成果を元に、通信・デバイス分野への一層の発展が期待されている。

［4］成果資料

(1) H. Nagata, Y. Hiruma, and T. Takenaka, "Electric-field-induced strain for $(Bi_{1/2}Na_{1/2})TiO_3$-based lead-free multilayer actuator", J. Ceramic Society of Japan, Vol. 118, No. 8, pp. 726 – 730 (2010).

(2) H. Nagata, M. Nemoto, Y. Hiruma, and T. Takenaka, "Temperature dependences of Piezoelectric Properties of Textured $(Bi_{1/2}K_{1/2})TiO_3$-$BaTiO_3$ Lead-free Piezoelectric Ceramics," Advances in Electroceramic Materials II, Ceramic Transactions, Vol. 221, pp. 55-61 (2010).

(3) Y. Noumura, Y. Hiruma, H. Nagata, and T. Takenaka, "High-Power Piezoelectric Characteristics of $Bi_4Ti_3O_{12}$-$SrBi_4Ti_4O_{15}$-Based Ferroelectric Ceramics," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, 09MD02 (2010).

(4) H. Nagata, M. Saitoh, Y. Hiruma, and T. Takenaka, "Fabrication and Piezoelectric Properties of Textured $(Bi_{1/2}K_{1/2})TiO_3$ Ferroelectric Ceramics," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, 09MD08 (2010).

(5) 永田 肇、竹中 正, "高温圧電センサ応用にむけた強誘電体セラミックスの開発", セラミックス, Vol. 45 (6), pp. 464ー468 (2010-6).

(6) 竹中 正, "超音波圧電デバイスの無鉛材料化", 日本音響学会誌(小特集 ―環境問題と音響技術―) Vol. 66, No. 7, pp. 331-338 (2010-7).

(7) J. Kondoh, S. Mikuni, N. Sawada, T. Ohta, T. Mori, H. Yatsuda, "Methanol sensor using shear horizontal surface acoustic wave devices for direct methanol fuel cells," 61st Annual Meeting of the ISE (CD-ROM), 2010.

(8) S. Seto, S. Horiuchi, and K. Yamada, "Use of Trapped-Energy Mode of Backward-Wave-Type Thickness Vibration for Liquid-Level Sensing," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, 07HC05 (2010).

(9) T. Kimura, M. Kadota, and Y. Ida, "High Q SAW Resonator Using upper-electrodes on Grooved-electrodes in $LiTaO_3$," Proc. IEEE Microwave Theor. Tech. Symp.,(Anaheim) pp.1740-1743 (2010).

(10) M. Kadota and T. Ogami, "High Frequency Lamb Wave Resonator using $LiNbO_3$ Crystal Thin Plate and Application to Tunable Filter," IEEE USS, 10E1, (2010)

(11) Y. Ohashi, T. Karaki, T. Lv, M. Arakawa, M. Adachi, and J. Kushibiki, "Measurements of acoustical physical constants and their temperature coefficients of $La_3Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O_{14}$ single crystal," Proc. Symp. Ultrasonic Electronics, Vol. 31, pp. 425-426 (2010).

(12) J. Lv. T. Karaki, and M. Adachi, "Effect of CuO Doping on $(Bi,Na)_{0.83}Ba_{0.17}TiO_3$ Piezoelectric Ceramics," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 49, 0.9MD06 (2010) .

(13) J. Lv, T. Karaki, and M. Adachi, "Low-Temperature Sintering of $(Bi,Na)_{0.83}TiO_3$-0.2wt%CuO Piezoelectric Ceramic from Nanopowders," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, 01BJ18 (2011).

(14) B. Bai, Y. Wen, F. Zhang, T. Karaki, and M. Adachi, "Influence of Hydrothermal Conditions on Size of Template Particles for Textured Ceramics," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, 01BE17 (2011).

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０３

採択回数	１　２　③

新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究

［１］組織

代表者：渡部　平司
（大阪大学 大学院工学研究科）
対応者：遠藤　哲郎
（東北大学 学際科学国際高等研究センター）
分担者：
宮崎　誠一
（名古屋大学大学院 工学研究科）
堀口　文男
（東洋大学 工学部
コンピュテーショナル工学科）
内富　直隆
（長岡技術科学大学 工学部電気系）
佐竹　郁夫
（大阪大学 大学院理学研究科）
白石　賢二
（筑波大学 大学院数理物質科学研究科）
名取　研二
（東京工業大学フロンティア研究機構）
有門　経敏
（東京エレクトロン株式会社）
執行　直之
（東芝 セミコンダクター社）
鳥居　和功
（日立製作所 中央研究所）
佐藤　基之
（東芝 デバイスプロセス開発センター）
渡邉　孝信
（早稲田大学 大学院理工学研究科）

研究費：物件費　５万円，旅費　０万円

（B タイプのプログラムであるために、本予算は、研究会開催に伴う旅費として活用する予定であった。しかし、３月１１日に発生した東日本大震災、及び、その後の復興業務により、３月１２日に予定していた研究会が開催不可能となり、本年度の研究会は休会としたために、大幅な予算の残余が生じた。）

［２］研究経過

従来の半導体メモリの研究の多くにおいては、その基本的メモリセル構造や動作原理における革新的変革はなく、メモリセルの寸法を微細化することなどにより、半導体メモリの高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、フラッシュメモリに代表される従来のデータストレージ用半導体不揮発性メモリは、①データ書き換え回数が約十万回に制限されている、②データ書き換え時の消費電力が大きい、③ゲート絶縁膜の信頼性に起因してその膜厚を７nm 以下に薄膜化できないため、ナノ領域までのデバイスの微細化（高集積化）が困難である等々の問題点に直面している。

この問題の打開をするため，微細加工技術の改善やゲート絶縁膜の高品質化や回路性能の向上といった個別の要素研究を進めてゆくだけでなく、所望の性能を達成し得る新しいデバイス構造・動作原理を提案すると共に，そのデバイスを実現するためのナノ材料プロセス研究からデバイス・回路設計研究までの幅広い研究を学際的に行っていくことを目標とし研究を進めている。

本プロジェクトは，本年度が最終年度であった。半導体メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題、①新規材料、②プロセス設計、③デバイス設計、④デバイス動作原理、⑤回路設計、⑥アーキテクチャー設計、⑦CAD 技術の各７項目を抽出し、これら課題について検討を深めてきた。

本年度も、前年度までに引き続いて「新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究」について、上記課題の検討を進め、ナノ領域でのスケーラビリティーに優れた高速大容量半導体メモリに対する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して、研究を進めた。

得られた実験結果、理論モデルについて、半導体研究の中核を担う研究者の集まる研究会 IWDTF、ゲートスタック研究会などを中心に、コアメンバーによる議論を行い、上記課題への理解を深化させた。

さらにこれまでの研究成果を総括し、今後の新たな研究への発展の足がかりとすべく、昨年度に引き続き、産官学の半導体デバイス分野の中核を担う研究者の集まる研究会NWDTFとの共同で、平成２２年３月１２日に本研究について研究会を開催する予定であった。しかし、この研究会は３月１１日に発生した震災のため残念ながら延期となった。本研究会におけるテーマの、さらなる発展を期し、次の研究課題へ持ち越すこととなった。

［3］成果

（3－1）研究成果

半導体メモリの大容量化・高速動作化に関する最新の研究状況と研究方向を議論し、研究のさらなる進展を目指し、今後半導体メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題、①新規材料、②プロセス設計、③デバイス設計、④デバイス動作原理、⑤回路設計、⑥アーキテクチャー設計、⑦CAD 技術の各７項目に対して、幅広く検討を行った。本年度は，以下に示す研究成果を得た。

前年度に引き続き、特にゲルマニウムなどの新規材料に関して、その界面形成過程などのプロセス技術の検討、およびその電気的絶縁特性、熱的耐性、電荷の移動度などの物理的特性、およびデバイス特性を系統的に評価し、これらの技術が高速大容量半導体メモリに対する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して与えるインパクトとその応用可能性の検討を行った。

また、デバイス設計、デバイス動作原理に対する検討として、ナノドットメモリセル、電荷蓄積型メモリセルなどの新構造メモリセルにおける電荷注入・放出過程を、実験、理論両面から評価した。これにより、メモリの動作原理にまで立ち返った検討を行い、ナノ界面における電子移動の物理に対する理解を深化させ、次世代の半導体メモリへの適応の可能性について考察した。

さらに得られた材料、プロセス、デバイスに関する知見を総合し、回路設計、アーキテクチャ設計、メモリ構造に適応したＣＡＤ技術に対しても検討を行った。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を通して、①基本記憶素子としての半導体メモリセルの微細化に関する技術、②基本記憶素子としての半導体メモリセルの高速動作化に関する技術、③半導体メモリの高密度化・高速動作化を実現する回路技術に関する技術、④上述の性能を実現するために材料･プロセス技術、について検討を行うことで、半導体メモリの高速動作化・大容量化を実現することを目指してきた。

これは、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、ユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージするキーデバイスを実現させるものである､また、同時に現在求められている省エネ社会実現のためにも不可欠な技術でありさらには、情報通信産業、半導体産業を初めとする電子・情報技術分野における急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

本プロジェクトを通した、研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大の結果、上述したように、本年度は残念ながら震災により延期となってしまったが、産官学の半導体研究分野の中核をなす研究者らによる研究会NWDTFとの共同での研究会を定期的に開催するに至った。これにより、より深くナノ構造形成プロセスとその新機能半導体デバイスへの応用について意見交換および技術討論を行う場を得た。また、当該研究会においては、多くの若手研究者に研究報告の機会を与え、一流の研究者達との議論の場を設け、これらは若手研究者の育成につながると期待される。

本プロジェクトで探索した大容量化・高速動作化半導体メモリ技術は、新しい高性能メモリの発展に結びつき，今後の発展が期待される。

［4］成果資料

(1) T. Shimura, S. Ogiwara, C. Yoshimoto, T. Hosoi, and H. Watanabe, “Fabrication of Fully Relaxed SiGe Layers with High Ge Concentration on Silicon-on-Insulator Wafers by Rapid Melt Growth”, Appl. Phys. Express, Vol.3, No. 10, pp. 105501-1-3 (2010)

(2) K. Shiraishi, T. Hosoi, H. Watanabe, and K. Yamada, “Control of Gate Metal Effective Work Functions and Interface Layer Thickness by Designing Interface Thermodynamics Based on Heteroatom Incorporation into High-k HfO2 Gate Dielectrics”, ECS Trans, Vol. 33, No. 6, pp. 479-486 (2010)

(3) T. Shimura, Y. Okamoto, D. Shimokawa, T. Inoue, T. Hosoi, and H. Watanabe, “Interface Reaction and Rate Enhancement of SiGe Thermal Oxidation”, ECS Trans, Vol. 33, No. 6, pp. 893-899 (2010)

(4) H. Watanabe, K. Kutsuki, I. Hideshima, G. Okamoto, T. Hosoi and T. Shimura, “(Invited) High-quality GeON Gate Dielectrics formed by Plasma Nitridation of Ultrathin Thermal Oxides on Ge(100)”, International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology Proceedings, pp. 867-870, (2010).

(5) T. Shimura, T. Inoue, D. Shimokawa, T. Hosoi, Y. Imai, O. Sakata, S. Kimura, and H. Watanabe, “Characterization of SiGe Layer during Ge Condensation Process by X-ray Diffration Methods”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, pp. 010112-1- 010112-6, (2011)

(6) K. Kutsuki, I. Hideshima, G. Okamoto, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, “Thermal Robustness and Improved Electrical Properties of Ultrathin Germanium Oxynitride Gate Dielectric”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No.1, pp. 010106-1-6 (2011).

(7) H. Arimura, T. Ando, S. L. Brown, A. Kellock, A. Callegari, M. Copel, R. Haight, H. Watanabe and V. Narayanan, “Optimization of Composition Ratio in La-Al-O Gate Dielectrics for Advanced Metal/Higher-k Devices”, Program and Exhibit Guide of 2010 MRS spring meeting, San Francisco, CA, I1.11, (2010)

(8) H. Watanabe, H. Arimura, Y. Oku, M. Saeki, N. Kitano, T. Hosoi and T. Shimura, “Fabrication of La-incorporated Hf-silicate Gate Dielectrics Using PVD-based in-situ Method and its Effective Work Function Modulation of Metal/High-k Stacks”, Program and Exhibit Guide of 2010 MRS spring meeting, San Francisco, CA, I4.10, (2010).

(9) T. Hosoi, M. Saeki, Y. Oku, H. Arimura, N. Kitano, K. Shiraishi, K. Yamada, T. Shimura, and H. Watanabe, “Comprehensive Study and Control of Oxygen Vacancy Induced Effective Work Function Modulation in Gate-First High-k/Metal Inserted Poly-Si Stacks”, 2010 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, Honolulu, Hawaii, pp. 179-180, 2010.

(10) T. Yamamoto, S. Ogawa, H. Arimura, M. Saeki, N. Kitano, T. Hosoi, T. Shimura, H. Watanabe, “Impact of Thermally Induced Structural Changes on the Electrical Properties of TiN/HfLaSiO Gate Stacks”, Extended Abstracts of 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology (IWDTF2011), Tokyo, Japan, pp.39-40, (2011).

(11) F. Iga, M. Kamiyanagi, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, H. Hasegawa, T. Hanyu, H. Ohno, T. Endoh “Study of the DC Performance of Fabricated Magnetic Tunnel Junction Integrated on Back-end Metal Line of CMOS Circuits”, IEICE Transacions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.608-613, May, (2010).

(12) M. Muraguchi, Y. Sakurai, Y. Takada, Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, S. Nomura, K. Shiraishi, T. Endoh “Collective Tunneling Model in Charge Trap Type NVM Cell” Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, E-3-2, pp.750-751, Tokyo, September 22 - 24, (2010).

(13) M. Muraguchi, Y. Sakurai, Y. Takada, Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, S. Nomura, K. Shiraishi, and T. Endoh, Bias Voltage Sweep Speed Dependence of Electron Injection in Si-Nano-Dots Floating Gate MOS Capacitor, 2010 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, (IMFEDK2010), pp. 48-49, Osaka, Japan, May 13-14, (2010).

共同プロジェクト研究

採択回数	１　２　③

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０４

ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究

［1］　組織

代表者：山部　紀久夫
（筑波大学　大学院数理物質科学研究科）
対応者：遠藤 哲郎
（東北大学　学際科学国際高等研究センター）
分担者：
山田 啓作
（筑波大学　大学院数理物質科学研究科）
蓮沼　隆
（筑波大学　大学院数理物質科学研究科）
知京　豊裕
（独立行政法人　物質・材料研究機構
半導体材料センター）
品田　賢宏
（早稲田大学 先端科学・
健康医療融合研究機構）
猪川　洋
（静岡大学　電子工学研究所）
中山　隆史
（千葉大学　大学院理学研究科）
財満　鎭明
（名古屋大学　工学研究科）
村岡　浩一（東芝　研究開発センター）
三谷　祐一郎（東芝　研究開発センター）
奈良　安雄
（富士通マイクロエレクトロニクス）
岡田　健治（パナソニック）

研究費：物件費　５万円，旅費　５万1,９５０円
（Bタイプのプログラムであるために、本予算は、研究会開催に伴う旅費として活用する予定であった。しかし、３月１１日に発生した東日本大震災、及び、その後の復興業務により、３月１２日に予定していた研究会が開催不可能となり、本年度の研究会は休会としたために、大幅な予算の残余が生じた。）

［2］研究経過

シリコン集積回路に代表される情報デバイスは、次世代情報化社会を実現するために、さらなる高性能化が広く世の中から望まれている。そのため、ナノスケール構造のシリコン半導体デバイスを実現することは急務である。しかし、半導体表面におけるナノ構造形成のためのプロセス技術は未だ確立されていない。さらに、単なる微細化による半導体デバイスの高性能化には限界が見え始めている。本共同プロジェクト研究会では、半導体におけるナノ構造形成プロセス技術に関する研究を行うと共に、当該ナノ構造によって発現する物理現象を応用した新機能シリコン半導体デバイスに関する研究を行うことを目的とし、量子論・統計学などのサイエンスを学術的背景とする第一線の研究者と、材料工学・デバイス工学・集積回路工学を学術的背景とする第一線の研究者をコアメンバーとして組織し、分野横断的かつ緊密な議論を行うことで、将来のナノ半導体材料の指導原理の開拓を目指すと共に、それを応用したナノメータ世代に適合した新しいデバイス技術の創生を目指してきた。

本プロジェクトは，本年度が最終年度であった。ナノ構造形成プロセス技術に関する研究については、前年度まで取り組んできた絶縁膜の破壊機構の解明に引き続き取り組み、本年度はこれまでのシリコン酸化膜に加え High-k 材料を導入した絶縁膜に対しても重点を置き評価を行った。

また、ナノ構造によって発現する物理現象の探求とその応用を目指し、シリコン-シリコン酸化膜界面における電荷移動過程を特にトンネル現象に着目して検討を進め、ナノスケールデバイスの界面における新奇な電子移動過程について、新たなモデルを提案するに至った。

上記得られた実験結果、理論モデルについて、半導体研究の中核を担う研究者の集まる研究会 IWDTF、ゲートスタック研究会などを中心に、コアメンバーによる議論を行い、上記課題への理解を深化してきた。

さらにこれまでの研究成果を総括し、今後の新たな研究への発展の足がかりとすべく、昨年度に引き続き、産官学の半導体デバイス分野の中核を担う研究者の集まる研究会 NWDTF との共同で、平成２２年３月１２日に本研究について研究会を開催する予定であった。しかし、この研究会は３月１１日に発生した震災のため残念ながら延期となった。本研究会におけるテーマの、

さらなる発展を期し、次の研究課題へ持ち越すこととなった。

［3］成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

（3－1）研究成果

原子的に平坦なシリコン単結晶表面を熱酸化することによって、シリコン酸化膜表面・界面の原子レベルのマイクロラフネスを観察することができる。これは、従来の鏡面研摩表面では見出せない状態であり、絶縁膜破壊現象の解明にとって極めて有用である。

本プロジェクトにおいては、本年度も前年度に引き続き、この超平坦シリコン上に形成した絶縁膜の破壊現象の解明を目指し研究を行い、ナノスケール半導体デバイスのプロセス技術構築を目指した。具体的には、絶縁膜に印加時間、印加パターンを様々に変化させた電気的ストレスを与え、それらが絶縁膜の信頼性特性に対する影響を観察した。さらに、本年度は半導体デバイスのゲート材料として導入が進められつつある高誘電体材料に特に焦点を当て、ストレス印加による欠陥準位の変化、劣化過程を調べることで、その膜質変化、局所的絶縁破壊のメカニズムを明らかにするための、知見を得た。

また、半導体表面の物理的形状並びに酸化物表面の物理的形状の相関関係をベースに、シリコン半導体表面における初期酸化のメカニズム関しても引き続き議論を行った。評価分析的手法からのアプローチだけでなく、極薄HfO2膜のリーク電流の二次元分布や、極薄SiO2膜のラフネスがMOSの信頼性へ与える影響を調べることで、絶縁膜の物理的形状が絶縁膜の電気的特性へ与える影響について議論した。

さらに、ナノ構造によって発現する物理現象の探求とその応用を目指し、ナノドットメモリや電荷蓄積型メモリなどにおけるシリコン−シリコン酸化膜界面における電荷移動過程を実験、理論両面から検討を行った。ナノスケールの電子分布の局所的な空間的ゆらぎおよび時間的ゆらぎが電子の移動過程において協調的電子の運動を誘起するという新奇な現象を見出し、それらがナノスケールのデバイスの信頼性へ与える影響について議論し、新たなデバイス応用を視野に入れた検討を行った。

上述の成果を踏まえて、本研究の基盤となるシリコン半導体表面における反応過程及びナノスケール構造の形成プロセス、電荷移動過程に関する議論を行い、本研究を総括し、当該学問分野の現状と今後の課題を系統的に分類し、今後の研究に対する方向性を得た。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトを通した、研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大の結果、上述したように、本年度は残念ながら震災により延期となってしまったが、産官学の半導体研究分野の中核をなす研究者らによる研究会 NWDTF との共同での研究会を定期的に開催するに至った。これにより、より深くナノ構造形成プロセスとその新機能半導体デバイスへの応用について意見交換および技術討論を行う場を得た。

また、当該研究会においては、多くの若手研究者に研究報告の機会を与え、一流の研究者達との議論の場を設け、これらは若手研究者の育成につながると期待される。

以上述べたように、本プロジェクトで明らかになりつつある極薄シリコン酸化膜の破壊機構およびナノ界面における電荷移動に対する成果は、今後のナノデバイスの信頼性の科学発展に大きく貢献するものと考えられ、大きな発展が期待される。

［4］成果資料

(1) R.Hasunuma, C.Tamura, T.Nomura, Y.Kikuchi, K.Ohmori, M.Sato, A.Uedono, T.Chikyow, K.Shiraishi, K.Yamada, and K.Yamabe; "Degradation in HfSiON Film Induced by Electrical stress Application", ECS Trans. 28(2), p.263-272,(2010).

(2) M. Sato, S. Kamiyama, Y. Sugita, T. Matsuki, T. Morooka, T. Suzuki, K. Shiraishi, K. Yamabe, J. Yugami, K. Ikeda, Y. Ohji, K. Ohmori and K. Yamada; "Negatively Charged Defects Generated by Rare-Earth Materials Incorporation into HfO2 and the Impact on the Gate Dielectrics Reliability", ECS Trans. 28(2), p.237-250,(2010).

(3) Y. Kikuchi, C. Tamura, Y. Murakami, K. Ohmori, R. Hasunuma, K. Yamabe; "Degradation Factors in HfSiON during Electrical Stress Application", 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology(IWDTF-11), The Japan Society of Applied Physics, (2011) p.99-100.

(4) C. Tamura, Y. Kikuchi, T. Isoda, K. Ohmori, R. Hasunuma, K. Yamabe; "Dependence of Restoration

from Electrical Damages in HfSiOx Films on Annealing Ambient", 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology(IWDTF-11), The Japan Society of Applied Physics, (2011) p.97-98.

(5) M. Sometani, R. Hasunuma, M. Ogino, H. Kuribayashi, Y. Sugahara, A. Uedono, K. Yamabe; "Effects of Thermal Annealing on Modification of CVD SiO2 Network and Removal of Residual Impurities", 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology(IWDTF-11), The Japan Society of Applied Physics, (2011) p.53-54.

(6) 林 優介, 染谷 満 (筑波大学 電子・物理工学専攻), 蓮沼 隆, 山部 紀久夫 ; 「極薄 SiO2 膜のラフネスが MOS の信頼性へ与える影響」、(2011 年 1 月 21 日、22 日)、第 16 回「ゲートスタック研究 会ー材料・プロセス・評価の物理ー」,pp.119 - 122(2011).

(7) 染谷 満, 田村 知大, 蓮沼 隆, 山部 紀久夫 ; 「高温下での定電流ストレスに対する SiO2 の信頼性」、(2011 年 1 月 21 日、22 日)、第 16 回「ゲートスタック研究会ー 材料・プロセス・評価の物理ー」, pp. 111 - 114(2011).

(8) 菊地 裕樹, 田村 知大, 蓮沼 隆, 山部 紀久夫 ; 「極薄 HfO2 膜のリーク電流の二次元分布とその要因」、(2011 年 1 月 21 日、22 日)、第 16 回「ゲートスタック研究会ー 材料・プロセス・評価の物理ー」,pp. 95 - 98(2011).

(9) 杉井俊介, 蓮沼隆, 山部紀久夫 ; 「quartz 表面における原子ステップ/テラス構造の形成」、表面科学

(10) M. Muraguchi, Y. Takada, S. Nomura, T. Endoh, Kenji Shiraishi;"Importance of the Electronic State on the Electrode in Electron Tunneling Processes between the Electrode and the Quantum Dot" IEICE Transacions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.563-568, May, (2010).

(11) F. Iga, M. Kamiyanagi, S. Ikeda, K. Miura, J. Hayakawa, H. Hasegawa, T. Hanyu, H. Ohno, T. Endoh "Study of the DC Performance of Fabricated Magnetic Tunnel Junction Integrated on Back-end Metal Line of CMOS Circuits", IEICE Transacions on Electronics, Vol.E93-C, No.5, pp.608-613, May, 2010.

(12) M. Muraguchi, Y. Sakurai, Y. Takada, S. Nomura, K. Shiraishi, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, Y Shigeta, T. Endoh "Collective tunneling model between two-dimensional electron gas to Si-nano-dot", 30th International Conference on the Physics of Semiconductors, P2-105, pp.804, Seoul, Korea, July 25-30, (2010)

(13) M. Muraguchi, Y. Sakurai, Y. Takada, Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, S. Nomura, K. Shiraishi, T. Endoh "Collective Tunneling Model in Charge Trap Type NVM Cell" Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, E-3-2, pp.750-751, Tokyo, September 22 - 24, (2010).

(14) 今本拓也, 佐々木健志, 遠藤哲郎, "SiON/Poly-Si NMOSFET の飽和領域における 1/f ノイズ特性", 平成 22 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会, 14a-ZE-12, 長崎大学, 長崎, 9 月 14 日-17 日, (2010).

(15) 佐々木健志, 今本拓也, 遠藤哲郎 "High-k/Metal Gate nMOSFET における駆動電流の温度依存特性", 平成 22 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会, 15a-ZE-6, 長崎大学, 長崎, 9 月 14 日-17 日, (2010)

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２０／Ｂ０８

採択回数	１　２　③

光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究

［１］組織

代表者：土田　英実
（産業技術総合研究所光技術研究部門）
対応者：中沢　正隆
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
廣岡 俊彦　（東北大学電気通信研究所）
吉田 真人　（東北大学電気通信研究所）
石川 浩　（産業技術総合研究所）
挾間 寿文　（産業技術総合研究所）
鳥塚 健二　（産業技術総合研究所）
森 雅彦　（産業技術総合研究所）
吉富 大　（産業技術総合研究所）
秋本 良一　（産業技術総合研究所）
美濃島 薫　（産業技術総合研究所）
洪 鋒雷　（産業技術総合研究所）
稲場 肇　（産業技術総合研究所）
谷澤 健　（産業技術総合研究所）
中嶋 善晶　（産業技術総合研究所）
岩國 加奈　（産業技術総合研究所）
増田 浩次　（島根大学）
山崎 裕史　（ＮＴＴ）
藤井 亮浩　（沖電気工業）

研究費：物件費５万０千円，旅費２１万３千円

［２］研究経過

次世代の超広帯域光通信システム、超高精度計測・標準システムを確立するためには、光波の超高速性に加えて、マイクロ波領域で培われた高度な位相制御技術を光波に適用するための研究開発が重要である。光波は高いキャリア周波数を有するため、技術的な障壁は大きいが、実現できれば、マイクロ波帯で確立された通信・計測技術の性能を遙かに凌駕する可能性を有している。本研究では、次世代の高度な光位相制御技術を確立することを目的として、東北大学・電気通信研究所、産業技術総合研究所等の研究者の間で、光位相制御技術とその応用に関する研究討論を行い、研究活動の紹介と将来の方向性に関する議論を行った。

本プロジェクトは，今年度が３年目に当たり、平成２２年１１月１０ー１１日に電気通信研究所において、東北大学、産業技術総合研究所、島根大学、ＮＴＴ、沖電気工業の研究者が参加して研究会を開催し、１３件の発表を行った。コヒーレント光伝送、超高速光伝送、光信号処理、ファイバラマン増幅、光変調器、光位相同期、光周波数標準・計測等の発表に対して、活発な討論を行った。研究会のプログラムを以下に示す（○は発表者を示す）。

１１月１０日（水）

１．開会挨拶　　中沢正隆（東北大学）
２．SWNT/ポリイミドフィルム可飽和吸収体を用いた波長 1.1μm 帯フェムト秒ファイバソリトンレーザ：○堀雄一郎，中沢正隆（東北大学）
３．超低雑音・広帯域ファイバラマン増幅技術の進展：○増田浩次（島根大学）
４．モード同期ファイバレーザを用いた Cs 光原子時計：○森崎貴仁，吉田真人，中沢正隆（東北大学）
５．産総研における光格子時計の開発：○洪鋒雷，安田正美，保坂一元，赤松大輔，稲場肇，中嶋善晶，岩國加奈，大苗敦（産業技術総合研究所）
６．高速制御型光周波数コムを用いた線幅転送と光格子時計への応用：○中嶋善晶，稲場肇，岩國加奈，保坂一元，安田正美，赤松大輔，大苗敦，洪鋒雷（産業技術総合研究所）
７．モードフィルタリングによる光周波数コムの周波数安定度向上：○岩國加奈，稲場肇，美濃島薫，岩本裕，保坂一元，渡部謙一，池上健，中嶋善晶，大苗敦，洪鋒雷（産業技術総合研究所）
８．PLC-LN ハイブリッド集積構成による高速多値光変調器：○山崎裕史，山田貴，美野真司（ＮＴＴ）
９．周回型遅延自己ヘテロダイン法によるレーザスペクトル線幅とＦＭ雑音の測定：○土田英実（産業技術総合研究所）

１１月１１日（木）

１．光 PLL の安定動作に向けた課題と検討：○藤井亮浩，神田祥宏，稲船浩司，賀川昌俊，荒平慎，村井仁（沖電気工業）
２．512 QAM (54 Gbit/s)-150 km コヒーレント伝送：○岡本聖司，豊田和志，大宮達則，葛西恵介，

吉田真人，中沢正隆（東北大学）
3．非線形シュレディンガー方程式の逆伝搬法を用いた 10 Gsymbol/s，64 QAM コヒーレント光伝送の特性改善：○豊田和志，岡本聖司，大宮達則，吉田真人，廣岡俊彦，中沢正隆（東北大学）
4．高速応答・広帯域パラメトリック可変分散補償技術：○谷澤健，来見田淳也，黒須隆行（産業技術総合研究所），高橋正典（古河電工），石田弘生，及川陽一，志賀代康（トリマティス），八木健（古河電工），並木周（産業技術総合研究所）
5．超高速時間領域光フーリエ変換法による 1.28 Tbit/s/ch-525 km 単一偏波 DQPSK 伝送：○関鵬宇（東北大学），Hans Christian Hansen Mulvad（デンマーク工科大学），冨山祐太郎，平野敏行，廣岡俊彦，中沢正隆（東北大学）
6．閉会挨拶　　土田英実（産業技術総合研究所）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

① ポリイミドフィルムに SWNT/P3HT 溶液を塗布した可飽和吸収体を用いて、波長 1.1μm 帯のモード同期ファイバレーザを開発し、持続時間 131fs のソリトンパルスを発生した。
② 光増幅中継システムに用いられる低雑音の分布ラマン増幅技術、および広帯域の集中ラマン増幅技術の進展を紹介した。
③ エタロンを挿入したモード同期ファイバレーザを用いた光マイクロ波発振器により、光周波数を連続掃引できる Cs 光原子時計を実現した。
④ 産総研における Yb、および Sr 光格子時計の開発状況、絶対周波数の決定、および今後の研究計画を紹介した。
⑤ 電気光学位相変調器を挿入した光ファイバ周波数コムを開発し、基準レーザに対する相対線幅 30mHz 以下、相対周波数安定度 2×10^{-16}（平均時間 1 秒）を実現した。
⑥ 光共振器を用いて光周波数コムのモードフィルタリングを行い、光周波数からマイクロ波周波数を合成した。
⑦ PLC 光導波路と LN 位相変調器アレイをハイブリッド集積化し、64QAM 変調器、多値数可変変調器、および OFDM-QPSK 変調器を実現した。
⑧ 周回型遅延自己ヘテロダイン法によるレーザ FM 雑音測定法を提案し、これを用いて狭線幅半導体レーザの評価を行い、FM 雑音と線幅の関係を明らかにした。
⑨ 光 PLL の動作解析により同期特性劣化の要因を明らかにした。注入モード同期半導体レーザを用いて 10、40Gbit/s-BPSK 信号の復調を行い、エラーフリー動作を実現した。
⑩ 偏波多重 512QAM コヒーレント伝送にラマン増幅器を導入することにより、伝送距離 150km においてスペクトル効率 12.3bit/s/Hz を実現した。
⑪ 非線形シュレディンガー方程式の逆伝搬法を用いて、群速度分散と自己位相変調による波形歪みを補償し、単一偏波 10Gsymbol/s-64QAM 伝送の性能を大幅に改善した。
⑫ 光パラメトリック可変分散補償の広帯域化と動作の高速化を行い、伝送路の切り替えに伴う分散変化を 125μs のガードタイムで補償した。
⑬ 時間領域フーリエ変換による波形歪み除去を利用して、1.28Tbit/s/ch-525km 単一偏波 DQPSK 伝送を実現した。

（3－2）波及効果と発展性など

光波の位相制御を利用する光通信システム、計測・標準システムは、現在のシステムの性能を遙かに凌駕する可能性を有することから、国内外の機関で研究開発が活発化している。本研究課題は次世代の光通信と計測標準を、光波の位相制御という共通の技術基盤で捉えて、デバイスからシステムに渡る広範囲な議論を行う点において、独自性と優位性を有していると考えられる。光波位相制御とコヒーレント光伝送に関して最先端のポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、高機能光デバイス、光信号処理、レーザー制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

3年間の共同プロジェクト研究を通して、光通信、計測・標準システムの極限性能を追求するためには、光位相制御技術に加えて、光波の最大の特徴である超高速性を同時に制御して利用する技術の研究が重要であることが認識された。また、本プロジェクトを契機として、日本学術振興会先端研究拠点事業「超高速光通信に関する拠点形成」(H21-22:拠点形成型、H23-25:国際戦略型)に採択された。

［4］成果資料

(1) F. Shohda, M. Nakazawa, J. Mata, and J. Tsukamoto, “A 113 fs fiber laser operating at 1.56 μm using a cascadable film-type saturable absorber with P3HT-incorporated single-wall carbon nanotubes coated on polyamide,” Opt. Express, vol. 18, no. 9, pp. 9712-9721 (2010).

(2) F. Shohda, Y. Hori, M. Nakazawa, J. Mata, and J. Tsukamoto, “131 fs, 33 MHz all-fiber soliton laser at 1.07 μm with a film-type SWNT saturable absorber coated on polyimide,” Opt. Express, vol. 18, no. 11, pp. 11223-11229 (2010).

(3) S. Yamanaka, T. Kobayashi, A. Sano, H. Masuda, E. Yoshida, Y. Miyamoto, T. Nakagawa, M. Nagatani, H. Nosaka, “11 x 171 Gb/s PDM 16-QAM transmission over 1440 km with a spectral efficiency of 6.4 b/s/Hz using high-speed DAC”, Tech. Dig. European Conference on Optical Communication, pp. 1-3 (2010).

(4) A. Sano, H. Masuda, T. Kobayashi, M. Fujiwara, K. Horikoshi, E. Yoshida, Y. Miyamoto, M. Matsui, M. Mizoguchi, H. Yamazaki, Y. Sakamaki, H. Ishii, “Ultra-high capacity WDM transmission using spectrally-efficient PDM 16-QAM modulation and C- and extended L-band wideband optical amplification”, IEEE J. Lightwave Technol., vol. 29, no. 4, pp. 578-586 (2011).

(5) T. Morisaki, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Optical frequency-tunable Cs atomic clock with a 9.19 GHz mode-hop-free fiber laser,” IEICE Electron. Express, vol. 7, no. 21, pp. 1652-1658 (2010).

(6) F. L. Hong and H. Katori, “Frequency metrology with optical lattice clocks,” Jpn. J. Appl. Phys., vol. 49, no. 8, 080001 (2010).

(7) H. Yamazaki, T. Goh, A. Mori, and S. Mino, “Modulation-level-selectable optical modulator with a hybrid configuration of silica PLCs and $LiNbO_3$ phase modulators,” Proc. ECOC2010, We.8.E.1. (2010).

(8) H. Tsuchida, “Time division vector optical sampling for ultrafast amplitude/phase modulation device characterization”, Opt. Lett., vol. 35, no. 19, pp. 3183-3185 (2010).

(9) H. Tsuchida, “Laser frequency modulation noise measurement by recirculating delayed self-heterodyne method”, Opt. Lett., vol. 36, no. 5, pp. 681-683 (2011).

(10) K. Kasai, T. Omiya, P. Guan, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 400-Gb/s OTDM-32 RZ/QAM coherent transmission over 225 km using an optical phase-locked loop technique,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 8, pp. 562-564 (2010).

(11) M. Yoshida, S. Okamoto, T. Omiya, K. Kasai, and M. Nakazawa, “256 QAM digital coherent optical transmission using Raman amplifiers,” IEICE Trans. Comm., vol. E94-B, no. 2, pp. 417-424 (2011).

(12) T. Omiya, S. Okamoto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “60 Gbit/s 64 QAM-OFDM coherent optical transmission with a 5.3 GHz bandwidth,” IEICE Electron. Express, vol. 7, no. 15, pp. 1163-1168 (2010).

(13) K. Tanizawa, J. Kurumida, H. Ishida, Y. Oikawa, N. Shiga, M. Takahashi, T. Yagi, and S. Namiki, “Microsecond switching of parametric tunable dispersion compensator,” Opt. Lett., vol. 35, no. 18, pp. 3039-3041 (2010).

(14) K. Tanizawa, T. Kurosu, and S. Namiki, “High-speed optical transmissions over a second- and third-order dispersion-managed DSF span with parametric tunable dispersion compensator,” Opt. Express, vol. 18, no. 10, pp. 10594-10603 (2010).

(15) T. Hirano, P. Guan, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “640-Gb/s/channel single-polarization DPSK transmission over 525 km with ultrafast time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 14, pp. 1042-1044 (2010).

(16) P. Guan, H. C. Hansen Mulvad, Y. Tomiyama, T. Hirano, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 1.28 Tbit/s-525 km DQPSK transmission using ultrafast time-domain optical Fourier transformation and nonlinear optical loop mirror,” IEICE Trans. Comm., vol. E94-B, no. 2, pp. 430-436 (2011).

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　③

課題番号　Ｈ２０／Ｂ０９

次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究

［1］組織
代表者：　村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
対応者：　村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
藤本和久：東北大学電気通信研究所：教授
青井基：東北大学電気通信研究所：客員教授
サイモン・グリーブス：東北大学電気通信研究所：准教授
三浦健司：東北大学電気通信研究所：助教
松岡浩：東北大学電気通信研究所・客員教授：
谷啓二：日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所：研究主席
山本康友：日立製作所システム開発研究所：部長
藤林昭：日立製作所システム開発研究所：主任研究員
島田健太郎：日立製作所システム開発研究所：シニアアーキテクト
赤池洋俊：日立製作所システム開発研究所：研究員
小河卓二：日立製作所 RAID システム事業部開発本部：RAID テクニカルスペシャリスト
浜田憲男：日立製作所 RAID システム事業部：部長
大沢寿：愛媛大学：教授
岡本好弘：愛媛大学：准教授
仲村泰明：愛媛大学：助教
金井靖：新潟工科大学：教授
山川清志：東北大学電気通信研究所：客員准教授
伊勢和幸：秋田県高度技術研究所：主任研究員
木谷貴則：秋田県高度技術研究所：研究員

研究費：　物件費０円、旅費４１万５千円

［2］研究経過

本共同プロジェクトは、昨年度より継続して３年目である。一貫して超大容量情報ストレージ技術の省電力化に関する研究を目的にしている。人類が取り扱うデジタル情報量は 5 年で 10 倍とも言われる加速度的な拡大を続けており、最近の統計ではすでに 2010 には 1800 エクサバイト（10^{21} バイト）を超えたとの推定もある。通常の個人のパソコンにおけるストレージ容量が数百 GB (10^{11} バイト)程度であることを考えると極めて大きな情報量であることが理解されるが、最近のネットワークコンセプトに基づくクラウドコンピューティングは急速な発展を続けている。ここではテキストデータだけでなく動画映像や長時間音楽情報配信など大規模データが大量に送受されており、情報ストレージの需要はさらに急速に伸びている。この膨大な情報を電子的に蓄積してコンピュータで容易かつ効率的な利用を提供するのが情報ストレージ技術である。ハードディスク装置（HDD)、さらには磁気テープ装置などの、主として磁気を用いた記録装置を用いた情報ストレージシステムが構築され世界中からアクセスされている。

この際に、増加した記録容量に応じて高速のデータ転送能力がなければ、大容量情報のアクセスにかかる時間が増加する一方であるので、巨大な情報量を現実的な時間で処理するための高速性も極めて重要である。HDD は 1 台で数百 Mbps の転送能力があるが、さらにこれを並列で転送することで高速化を図っている。この結果、記録容量の大規模化と併せてシステム当たりに使用される HDD の数は増加の一途を辿っている。現在の大規模情報ストレージサイトではテラバイトから数十テラバイト級のストレージシステムから、急速な情報量の拡大を背景にペタバイト（10^{15} バイト）級の容量が一般的になりつつある。しかし、データセンターではその規模の拡大に伴って巨大な消費電力コストや空調負担のため、サイト当たりのストレージ容量を大きくするために単に HDD のユニット数を比例的に増加させることはその大きさや消費電力などの観点から現実的ではなく、将来の具体的なシステム構成指針は必ずしも定まってはいない。

このような背景から、ストレージ装置の高密度化とともにその高密度性を生かす用途を含めた総合的なストレージ研究を展開し、次世代ペタバイトストレージのシステム的な課題を抽出しその解決のアプローチを明らかにする研究を行うものである。

本共同研究は、大規模ストレージサブシステムの研究を目標にしたこれまでの成果を受け、今年度は HDD 自体の高密度・大容量化も含めた総合的な研究に展開することとした。昨年度は多数の HDD を

並列化したRAID型ストレージサブシステムの省電力アーテキチャを中心に議論を進めたが、HDD の高密度化と大容量化は省電力化にも直接貢献するものであり、このための研究も包括的に進めた。以下、研究活動状況の概要を示す。

研究打合せの開催状況は下記の通りである。

○ストレージサブシステムグループ（9回）

2010年4月16日
2010年6月4日
2010年6月29日
2010年7月29日
2010年9月9日
2010年11月2日
2010年12月13日
2011年1月24日
2011年3月10日

○高密度磁気記録グループ（7回）

2010年5月24日
2009年6月16日
2009年7月28日
2009年10月4日
2009年11月22日
2011年1月27日
2011年3月11日

［3］成果

（3－1）研究成果

【ストレージサブシステムの成果】

HDD サブシステムでは故障によるデータ損失の回避に重点が置かれ、RAID と呼ばれる並列化して冗長性を持たせた複数の HDD をグループで構成して障害から回復できるようにパリティ情報を同時に記録してデータ保全性を確保している。このようにデータ信頼性や大容量性が重視されてきたため、高速ディスク回転数の高価な高信頼 HDD を多数用いてシステムを構成している。ところが、ストレージ容量は急速な増加を続けておりデータセンターの消費電力は温室効果ガス排出や電力コスト、さらには廃熱や騒音・設置スペースなど今後ますます深刻化する大きな環境問題として注目されるに至った。

これまでの検討ではストレージシステムの省電力化を目標に進めてきた。本共同研究ではすでに平成17年度ころより、新たな階層構成された並列化ストレージシステムの省電力化の方式提案を行って検討を続けてきた。昨年度は具体的な方式設計とその開発要素の抽出を行った。

これまでの方式では高速のデータ入出力を担う階層に消費電力の大きい高速 HDD を、その下位に使用頻度の下がったデータを対比させる低消費電力 HDD を置く階層化までは既知であったが、本グループではすべての情報を下位（ニアライン）HDD に蓄えた後にいったん電源を切り、使用される情報を予知して少量の高速 HDD にステージングするという従来とは逆の発想によるストレージシステムの実現を目指してきた。このシステムは大きな容量を持つ下位階層の HDD はほとんどの電源供給が停止しているために大幅な消費電力削減が期待される。しかし、そのままでは停止した HDD にあるデータにアクセスがあった場合の書き込み・読み出しにはディスク回転を立ち上げる時間を確保しなければならないため予知が正確でなければデータアクセスに待ちが発生してアクセス性能が低下するリスクを有している。

このリスクを定量的に把握するために待ち行列理論を用いて、アクセスされたデータをニアライン HDD から上位（オンライン）HDD にコピーする（ステージングする）時間と読み出し時間との確率統計的な解析を通じて、さまざまな条件でアクセスがミスヒットするエラーレートを計算した。

以上のようにして、すでにアクセスのない HDD の電源を遮断することで 50%の省電力化を達成する成果をあげている。一方で、大容量データを扱うストレージ系には短時間で必要な情報を授受する能力、すなわち高速のデータ転送性能は欠かせない性能であり、これを確保した省電力化を図ることが肝要である。

ストレージサブシステムにおいてはデータ転送速度の向上が必要であるがこれは各ストレージノードの並列化によって実現されており並列数に比例したデータ転送速度を実現している。しかし、ここには各ディスクへのアクセスが均等であることが仮定されている。アクセスがどこかに偏るとそこに処理が集中する結果、ジョブの一部は待ちになりストレージ系全体の等価的な転送レートが低下することになる。これを回避するために各ノードに割り当てられるジョブの状況を時々刻々とモニタしてアクセスの集中が起こらないように制御するアルゴリズムを開発した。これによってストレージシステム全体のデータ転送レートがノード数に比例するように改善された。しかしジョブ投入前の待ち行列に基づいてジョブの割り振りを行うために、直前での待ち状態の変化によって完全なジョブの均等割り振りまでには至っていない。今後の検討課題である。

【高密度磁気記録の研究】

磁気記録の高密度化は HDD の大容量性と小型化及びビット単価の低廉化のための一貫した研究要素であるが、本プロジェクトではそれに加えて、高密

度化によって所要HDD台数を低下させることで省電力化が大きな狙いである。たとえば、10倍の高密度化はHDD1台当たりの記録容量を10倍にできるので必要な記録容量に対して必要なHDD台数を1/10に減少させることができる。この結果は1/10の省電力が実現できることと等価である。

一昨年度以来、モデリングおよびコンピュータシミュレーションによる記録再生理論の検討、強磁界垂直磁気記録ヘッド、高密度信号処理方式、の3つの要素技術の検討を続けているが、最近はスタティックテスターによる実験的検討を加えて行っている。

昨年度までの検討によってパターン媒体では2 Gbit/inch^{2}の高い記録密度が可能なことが明らかになっているが、そのためには記録ヘッドの記録磁界勾配の改良が必要なことが分かっている。この成果を踏まえ、今年度は10 Tbit/inch^{2}を目指して、記録ヘッドの等価的な磁界勾配を大きくする方策に取り組み、記録点を加熱するHeat assisted recording（熱補助記録）が記録時の高い熱勾配によって記録分解能を改善できることに着目し、ビットパターン記録と熱補助記録の組み合わせによって高い面記録密度を実現できることを示した。

強磁界の記録ヘッドの研究については、昨年度に平面型垂直ヘッドの主磁極構造の最適化に加えて、記録媒体の軟磁性裏打ち層の構造を工夫することで高記録磁界勾配をが実現できることが分かっている。特にこれまで例のない1000 Oe/nmという高い値が有限要素法を用いたシミュレーションから示された。一方で、実際にナノサイズの記録磁極を形成する微細加工技術も検討し、リフトオフとエッチングを併用する加工方法によってシミュレーションで導いた3段テーパー構造磁極の加工法を開発した。

信号処理方式については、ビットパターン媒体で問題になる記録誤りの対策についての検討を続けている。記録過程で生じる記録誤りを信号処理によって救済することを目的に、LDPC符号を用いる反復復号法とリードソロモン符号による誤り訂正を検討し、ビットパターン媒体のヘッドディスク系の記録特性上避けがたいと予測されている10^{-5}の書き込み時のエラーレートに対しても問題なく、さらに今年度はより悪い10^{-3}程度までの記録誤り率でも正しく復号可能であることが明らかになった。これはビットパターン媒体の研究にとって重要な成果である。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究は平成19年度より採択された文部科学省の「次世代IT基盤構築のための研究開発」の「高機能・超低消費電力スピンデバイス・ストレージ基盤技術の開発」プロジェクトの取り組みの一部として検討を続けている。採択後も学術面での機敏な研究打合せの実施などこの大型プロジェクトを機動力のある形で支援する研究活動を担うよう活動している。

大規模の並列HDDにより構成されるストレージ技術は、今後急速な拡大が続いており、今後のスーパーハイビジョンなどの次世代高細精度の広帯域動画情報やそのアーカイブに代表される大規模情報の急速な展開を考えると極めて広範なICT技術での波及効果が想定され、将来のストレージシステムに関して先導的な開発が必要である。

［4］ 成果資料

1. Simon Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, “Shingled Magnetic Recording on Bit Patterned Media,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 6, pp. 1460-1463, June 2010.

2. Yuta Ikeda, Simon Greaves, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, “Relationship Between Applied Field Gradient and Magnetization Switching in ECC Structured Dots,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 6, pp. 1622-1625, June 2010.

3. Yuichi Ohsawa, Kiyoshi Yamakawa, Hiroaki Muraoka, “Irradiation Damage in Fe-Co Thin Films With Low-Energy Ion Beam,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 6, pp. 2044-2047, June 2010.

4. Yasushi Kanai, Kazuya Koyama, Manabu Ueki, Toshio Tsukamoto, Kazuetsu Yoshida, Simon John Greaves, Hiroaki Muraoka, “Micromagnetic Analysis of Shielded Write Heads Using Symmetric Multiprocessing Systems,” IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 8, pp. 3337-3340, Aug 2010.

5. Hiroaki Muraoka, Simon Greaves, “Statistical Modeling of Write Error Rates in Bit Patterned Media for 10 Tbit/inch^2 Recording,” IEEE Trans. Magn., vol. 47, no. 1, pp. 26-34, January 2011. [Invited]

6. Yuichi Ohsawa, Kiyoshi Yamakawa, and H. Muraoka, “In situ magnetoresistance measurements of ion-beam-etched Fe-Co thin films,” J. Appl. Phys., Vol. 109, 07B736, Apr. 2011

7. 津嶋宏志、三浦健司、村岡裕明、「再生波形から推定した垂直磁気記録の孤立磁化転移形状の検討」、日本磁気学会誌、Vol. 35, No. 2, pp. 39-42, 2011.

8. 白幡一樹，嵯峨秀樹，三浦健司，島津武仁，青井基，村岡裕明，“スタティックテスタによるパターン媒体の記録マージンの測定”, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol35, No. 3, pp. 171-174, 2011.

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２０／Ｂ１０

採択回数	１　２　③

高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフトウェアの開発

［１］組織

代表者：加藤 和彦（筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻）

分担者：

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

河野 健二（慶應義塾大学理工学部情報工学科）

大山 恵弘（電気通信大学 電気通信学部情報工学科）

品川 高廣（筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻）

阿部 洋丈（豊橋技術科学大学 情報工学系）

杉木 章義（筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻）

研究費：物件費０円，旅費252,000円

［２］研究経過

研究目的と概要：

オペレーティングシステムに代表されるシステムソフトウェアは高度のセキュリティと信頼性が求められるが，その設計と実現については未だ系統的な方法が確立されているとは言い難いのが実情である．本研究プロジェクトでは，関数型言語MLに代表される高信頼プログラミング技術を活用し，ディペンダブルなシステムソフトウェアの開発のための検討を行うことを目的として研究を実施した．

本プロジェクトが開始されて３年目にあたる本年度は，昨年度に引き続き，研究集会の機会を設けて各メンバーの研究内容の相互理解を深めるとともに，本プロジェクトの最終的な目的達成のための今後の研究に関する方針設定が行われた．具体的には，加藤らが研究を進めているKumoiクラウドシステムと大堀らが研究開発を進めている関数型言語 SML#との相補的な統合による次世代高性能クラウド基盤の研究開発の可能性に関する具体的な検討がなされた．また，各研究グループの進めている研究テーマの相互連携の可能性や今後の本格的な共同研究の方針ついても議論が行われた．

研究活動状況の概要：

本年度の主な活動として，2010年12月に東北大学において，研究代表者および分担者を中心に，大学院生も交え研究集会が開催され，各研究グループの研究の経緯やその成果についての紹介がなされた．加藤グループからは，クラウド研究開発のための基盤ソフトウェアであるKumoiに関する報告がなされた．そこでは特に，参加者の杉木により，物理計算機や仮想計算機などのリソースに対応する言語オブジェクトの提供方式や，クラウド環境構築における多くのタスクをこれらのオブジェクトを操作するスクリプトとして記述させることでシステムの拡張性やモジュール性を高める手法に関する成果が報告された．また，大堀グループからは，高信頼プログラミング言語 SML#の研究開発について説明がなされ，主な成果が報告された．特に参加者の上野から，データベースクエリ言語SQLをシームレスに統合する方式について報告された．この方式では，SQL 言語そのものを拡張構文としてSML#に統合しSQLクエリを第一級の値として扱うことが可能であること，また，SML#の型システムはSQLクエリの主要な型を推論可能であることが報告された．また，森畑からは，プログラムの自動最適化の理論を応用した最適経路問合せシステムの説明がなされた．河野グループからは，ブラウザのアドオンを利用したアドウェアの振る舞い解析手法が紹介された．また，阿部グループからは，L2Loadbalancing による Adaptive NIDS Cluster の構築に関する研究が紹介された．上記の研究紹介とともに，それぞれの立場から研究の方向性などについての議論が行われ，さらに今後の共同研究の方向性などについても検討された．

以上の研究集会に加え，最終年度である本年度は，加藤グループと大堀グループによる，これまでの研究の総括と今後の共同研究に関する討論を行い，後述する共同研究計画の見通を得た．

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，先端の高信頼プログラミング技術が今日のシステムソフトウェア開発に対してどのように貢献可能かを明らかにし，またそこでの議論を通じ，このような技術によるディペンダブルなシステムソフトウェア開発へと発展させることを具体的な目標としている．また，高信頼プログラミング言語技術をこうした開発に利用する際に，実際にどのような問題が発生し，それに対してどのように対処すべきかについても明らかにすることを目指している．

以上の観点から，ディペンダブルなシステムソフトウェアの研究開発経験を有する加藤・河野・阿部・杉木らと，高信頼プログラミング言語システムの研究開発経験を有する大堀・上野・森畑らとの間での議論を通じて，互いの研究の理解を深めることにより，各自の研究推進に活かすとともに，実際のシステム構築に向けたプロトタイプシステム設計とその実現に向けた具体的な方法について検討してきた．

最終年度にあたる本年度は，SML#によるC言語とのシームレスな連携に注目しながら，各研究グループの推進しているシステムソフトウェア開発およびそれに関する解析手法などへの適用可能性について検討を行い，加藤らの推進するディペンダブルなクラウドコンピューティング基盤の研究開発を中心としたシステムソフトウェアに対して，SML#およびその研究開発で得られた知見を活かすための具体的な案が検討された．

これまで加藤らの研究グループでは，クラスタ計算環境上で仮想マシンおよび仮想ネットワークを管理し，IaaS（Infrastructure as a Service）型のクラウドコンピューティング基盤を構築するためのミドルウェアであるKumoi（雲居）の開発を行ってきた．Kumoiは，クラスタ計算機上で仮想マシンモニタと仮想ネットワークを操作し，ハードウェア環境とは独立した論理的な並列計算環境を作り出し，それを物理計算環境にマッピングして実行することを可能にする．クラウドの管理者は，この論理的な計算環境での種々の操作を，Kumoiの提供する高水準なシェルスクリプト言語環境を通じて行うことができる．今年度は，開発の完了している部分（Scala 言語による実装で2万行）をオープンソースソフトウェアとして公開した．一方大堀らの研究グループでは，次世代高信頼言語の SML#の研究開発を行ってきた．SML#は，多相型関数型言語 Standard ML を拡張し，レコード多相性などの最先端の型システム，システム記述言語であるCとの高い相互運用性やデータベースとのシームレスな統合などを実現する実用性の高い関数型言語である．本年度は，SQL 問い合わせ言語とのシームレスな統合を実現し，オープンソースソフトウェアとして公開した．

昨年度までの議論により，Kumoiの提供する計算環境に，SML#の持つCとの相互運用性やレコード多相性の機能を通じて，関数型プログラミング機能を統合するならば，これまで広く用いられてきた key-value store に対抗しうる性能を備えた大規模並列分散環境構築のためのミドルウェアへと発展させることの可能性と有効性が確認されている．これらの議論をふまえ，本年度は，高機能クラウド基盤の構築の可能性に関する検討を行った．その結果，以下のような見通しを得た．(1) key-value store とそれに基づく MapReduce パラダイムを，関係データモデルを包摂する大規模分散データと関係代数を統合した関数型計算モデルに拡張するならば，従来のクラウド計算を革新する高機能クラウド計算モデルを構築できる可能性がある．(2) さらに，Kumoiの提供する計算環境に，データベースとシームレスに統合された SML#言語を統合することによって，そのようなモデル上に，実際に高機能クラウド計算基盤を開発できる可能性がある．

今後はこれらの案をさらに詳細化し，より具体的な共同研究プロジェクトの立ち上げを，実際のディペンダブルなシステムソフトウェア開発へと発展させることを考えている．これら研究開発によって可能となる高機能クラウド基盤は，今後重要となる，グローバルな視点での大幅な省電力の達成，災害や故障に耐える堅牢なシステムの実現などの可能にするディペンダブル・システムソフトウェア基盤となると期待される．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトによる波及効果および研究の発展性については，以下のものが挙げられる．

まず，3 年間にわたり本プロジェクトで開催された研究集会での議論を通じて，各研究メンバーがそれぞれ進めてきた研究テーマに新たな知見が加わることによる相乗効果を得ることができたと考えている（具体的な研究成果は，［4］成果資料を参照のこと）．

さらに，本プロジェクトで開催された研究集会には，各研究グループに所属する多くの若手研究者や大学院生も参加した．このような研究分野の近いメンバーによる研究交流の場は，若手研究者が他のグループとの質疑などを通じて新たな知見を得たり新しい研究テーマを発見したりするための非常に有意義な機会となった．その意味で，本プロジェクトの推進が若手研究者の育成にも貢献していると言える．

［4］成果資料

1. A. Morihata. “A Short Cut to Optimal Sequences”, New Generation Computing 29(1):31–59, Springer–Verlag, 2011.
2. M. Ishikawa, K. Hasebe, A. Sugiki, and K. Kato,“Dynamic Grid Quorum: A Reconfigurable Grid Quorum and Its Power Optimization Algorithm”, J. Service Oriented Comput. Appl., 4(4): 245–260, Springer–Verlag, 2010.
3. J.Hirose, K. Baba and H. Abe. “Bandwidth Control between High–speed Protocol Flows in Long–distance Networks”. 1st Intl. Workshop on World Wide Computing Environments for Knowledge Discovery, 2011.
4. K. Hasebe, K. Yamatozaki, A. Sugiki, and K. Kato, “Self–Stabilizing Passive Replication for Internet Service Platforms”, IFIP NTMS 2011, 6 pages.
5. A. Sugiki, K. Kato, Y. Ishii, H. Taniguchi, and N. Hirooka, “Kumoi: A High–Level Scripting Environment for Collective Virtual Machines”, IEEE ICPADS 2010, pp. 322–329.
6. K. Hasebe, T. Niwa, A. Sugiki, and K. Kato, “Power–saving in Large–Scale Storage Systems with Data Migration”, IEEE CloudCom 2010, pp. 266–273.
7. T. Nomoto, Y. Oyama, H. Eiraku, T. Shinagawa, K. Kato, “Using a Hypervisor to Migrate Running Operating Systems to Secure Virtual Machines”, IEEE COMPSAC 2010, pp. 37–46.
8. C.–H. Lee, H. Abe, T. Hirotsu, K. Umemura. “Analysis of Anomalies on a Virtualized Network Testbed”. IEEE CIT 2010, pp. 297–304.
9. T. Hirotsu, K. Fukuda, H. Abe, S. Kurihara, O. Akashi, T. Sugawara. “Dynamic and Distributed Routing Control for Virtualized Local Area Networks”. IEEE LCN 2010, pp. 212–215.
10. C.–H. Lee, H. Abe, T. Hirotsu and K. Umemura. “A PCA Analysis for Traffic Anomaly Estimation”. Internet Conference 2010.
11. A. Morihata and K. Matsuzaki, “Automatic parallelization of recursive functions using quantifier elimination”. FLOPS 2010, LNCS 6009, pp. 97–108, 2010.
12. 高橋謙輔, 阿部洋丈, 廣津登志夫, 菅原俊治. 離散PSOを用いた分散仮想ルータのための動的中継点制御. 人工知能学会論文誌, 26(1): 25–33, 2011.
13. 森畑明昌, 松崎公紀, 武市正人. 領域限定言語に基づく最適経路問合せ.情報処理学会論文誌:プログラミング, 4(2): 1–18, 2011.
14. 小長谷 秋雄, 宮澤 和徳, 品川 高廣, 加藤 和彦. ネットワーク分断に対応した分散オブジェクトライブラリ. 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, 3(2): 99–112, 2010.
15. 上野雄大, 大堀淳. SML#の外部関数インターフェース. コンピュータソフトウェア, 27(2): 142–168, 2010.
16. 石黒 駿, 大山 恵弘. アプリケーションの実行を指定した時間に制限するためのLinuxの拡張. 情報処理学会第146回マルチメディア通信と分散処理・第52回コンピュータセキュリティ合同研究発表会, 6 pages, 2011年.
17. 大山 恵弘. ハイパバイザによる広告表示. 第9回情報科学技術フォーラム, pp. 341–342, 2010年.
18. 佐久間 充, 大山 恵弘. 仮想マシンモニタを用いたOSコードの秘匿化. 情報処理学会 第50回コンピュータセキュリティ研究発表会, 2010年.
19. 小川 夏樹, 大山 恵弘. サンプリングベース侵入検知システム. 情報処理学会 第50回コンピュータセキュリティ研究発表会, 2010年.
20. 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦:仮想マシンモニタによる透過的ネットワークブート方式. 情報処理学会第22回コンピュータシステム・シンポジウムにて若手優秀論文賞受賞
21. 加藤和彦を代表者とするSCOPE研究グループ:ディペンダブルな自律連合型クラウドコンピューティング基盤の研究開発. 独立行政法人 情報通信研究機構 JGN2plusアワード(ネットワーク・運用技術賞)受賞
22. 齋藤 啓太, Paul A. Reisert, 上野 雄大, 大堀 淳, SML#コンパイラと連携したEclipseプラグインの試作 ―コンパイラ内部機能のユーザへの提供に向けて―, 日本ソフトウェア科学会第27回大会, 2010年. 学生奨励賞 (学生セッション部門) 受賞.
23. 文部科学省科学研究費補助金基盤B(H22年度ー),
24. 総務省SCOPE(H21年度ー)

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０１

プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用

［1］組織

代表者：安藤　晃（東北大学工学研究科）
対応者：末光眞希　（東北大学電気通信研究所）
分担者：犬竹正明　（東北大学電気通信研究所）
佐藤岳彦　（東北大学流体科学研究所）
服部邦彦　（日本工業大学共通教育系）
船木一幸　（宇宙航空研究開発機構）
佐々木浩一（北海道大学院工学研究科）
中島秀紀　（九州大学大学院総合理工学研究院）
篠原俊二郎（東京農工大学）
佐藤 浩之助（九州大学総合理工学研究院）
佐宗章弘　（名古屋大学大学院工学研究科）
小紫公也　（東京大学大学院
新領域創成科学研究科）
津島 晴　（横浜国立大学大学院）
戸張博之（日本原子力研究開発機構）
北野勝久（大阪大学大学院工学研究科）
田中雅慶（九州大学大学院総合理工学研究院）
高木浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）
水野　彰（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）
吉村信次（核融合科学研究所）
永田正義（兵庫県立大学工学研究科）
永岡賢一（核融合科学研究所）
上杉喜彦（金沢大学自然科学研究科）
津守克嘉（核融合科学研究所）
林　信哉（佐賀大学理工学部）
永津雅章（静岡大学創造科学技術大学院）
竹入康彦（核融合科学研究所）
市村　真（筑波大学数理物質科学研究科）
中嶋節男（積水化学工業（株）NBO 開発推進
センター）

研究費：物件費　5 万円、旅費　50 万 1 千円

［2］研究経過

現在、プラズマ生成技術は新しい材料の製造プロセス分野においても欠かせぬ手段として活用されており、半導体集積回路、太陽電池、発光ダイオード、ダイヤモンド合成、セラミック製造、磁性材料、超電導材料など各種薄膜形成、微細加工、表面改質応用に不可欠なナノテクノロジーの基盤技術となっている。

特に、最近は大気圧領域で動作する高気圧・高密度プラズマがその反応性の強さや効率の高さなどで強く興味を持たれている。このようなプラズマ生成制御技術にはプラズマの流れ場が重要な役割を果たしていることが明らかとなってきた。プラズマの流れが新しい機能性場を生み出し、ナノ分野をはじめ宇宙推進技術や種々の応用研究に重要な役割を果たしている。現在では基礎研究だけでなくプラズマ流の計測・可視化技術も含めた応用研究が積極的に進められている。

本研究では、次世代のナノ情報デバイスの創製をはじめ、宇宙技術や他の産業応用に関連した分野間を越えた研究交流を積極的に図ることを目的とし、プラズマの流れが生み出す新機能性場についての基礎研究や応用研究に関する研究会を開催した。これまで様々な立場で研究が行われてきたプラズマ流の生成・制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進め、特性の評価、理論的検討などを進め、今後の応用研究へ展開を図ることを目的として開催された。
以下に、本年度開催した研究討論会の概要を記す。

第１回
日　時：平成 22 年 8 月 5 日（木）
東北大学工学部電気情報館北研究棟にて、服部邦彦氏（日本工大）を交えて大気圧および液中プラズマの放電特性や計測法に関して意見交換を行った。特に大気圧放電における材料ガス気流と放電特性に及ぼす影響や液中でのバブル発生と放電計測など議論があった。また、高電圧機器の開発や応用に関しての情報交換を行った。

第２回
日　時：平成 23 年 2 月 11 日（火）
東北大学工学部電気情報館北研究棟にて、高木浩一氏（岩手大）を交えて液中プラズマの放電特性や計測法に関して意見交換を行った。高電圧パルス発生法や計測機器、液中へのバブルガス流効果、プラズマ放電による水質改善や応用に関しての情報交換を行った。

第３回
日　時：平成 23 年 2 月 23 日（水）、24 日（木）
東北大学工学部電気情報館 103 講義室にて、「プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用」に関する研究会を開催した。発表題目と講師は以下の通り。

(1) 上杉喜彦　(金沢大・自然科学)
“大電流密度直流アーク放電における陰極点の動的挙動”
(2) 永岡賢一　(核融合科学研)
“ＬHDイオンＩＴＢプラズマの運動量輸送に関する研究-対角項と非対角項-”
(3) 津島 晴　(横浜国立大)
“１次元および２次元プラズマの運動量の収支”
(4) 永田正義　(兵庫県立大)
“球状トーラスプラズマのマルチヘリシティ入射実験”
(5) 田原弘一　(大阪工業大学)
“電気推進エンジン搭載超小型衛星プロイテレスの開発研究”
(6) 船木一幸　（ＩＳＡＳ／ＪＡＸＡ）
“イオンエンジン設計ツールの研究開発”
(7) 横田　茂　(名古屋大・工)
“ホローカソードを用いた外部磁場印加型定常作動二次元 MPD 推進機の作動特性”
(8) 荒巻良介，高橋直大，田中のぞみ，安藤　晃（東北大・工）
“超アルヴェン速プラズマ流とプラズマ離脱現象の観測”
(9) 寺坂 健一郎　（九大・総理工）
“発散磁場領域におけるイオン流線のディタッチメントと回転流駆動”
(10) 榎 伯仁　(名古屋大・工)
“誘導プラズマ加熱と回転磁場を用いた無電極電気推進機の作動モデルと作動実験”
(11) 稲吉陽平，中西国博，植澤裕史，吹留博一，中嶋節男 2，上原剛，豊島安健 3，末光眞希（東北大通研，2 積水化学工業(株)，3 産総研）
“パルス電界大気圧プラズマ CVD 法における局在導電膜の影響”
(12) 下川龍太郎，富樫達也，田中のぞみ，安藤　晃（東北大）
“ナノ秒パルス放電を用いた気液混相プラズマによる水質改善”

［３］成果
（３－１）研究成果
本年度は、以下に示す研究成果を得た。
まず第１に、日本工大の服部邦彦氏との研究討論により、大気圧および液中プラズマの放電特性や計測法に関して討論を行うとともに、最近の実験結果に関する問題点をもとに、実験・理論解析両者において今後の研究に関する方向性を示した。
第２に、岩手大の高木浩一氏との研究討論により、液中プラズマの放電特性や計測法に関して討論を行うとともに、高電圧パルス発生法や計測手法、水質改善などへの応用に関して最近の実験結果と展開について議論し、今後の研究に関する方向性が明らかとなった。
第３に、「プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用」に関する研究会において、以下のような報告と討論を行った。
まず金沢大の上杉氏より、100A 超級の大電流密度アーク放電における陰極点の動的挙動に関して、重相極限構造プラズマに関する報告がなされた。アークプラズマ-陰極界面領域に「重相（混相）極限プラズマ構造」が形成され、その過程解明と制御手法に関する研究発表が行われた。
核融合科学研究所の永岡氏より、大型ヘリカル装置を用いたトロイダル回転に関する研究について報告があった。加熱ビームによる外部からの入力トルクと粘性（運動量輸送係数）のバランスで発生する自発回転は、閉じ込め改善とともに温度依存性が負から正へ遷移し、内部輸送障壁内側で顕著に回転が増大することが初めて示された。
つづいて横浜国大の津島氏より、プラズマ系の運動量の収支について１次元および２次元での流体モデルで調べた結果について報告があり、外部から与えられた運動量は、プラズマ中で運動量を減ずる力の反作用としての境界領域の圧力とプラズマ中で消費されずに外へ排出される運動量との和とで収支が釣り合っていることが示された。
兵庫県立大の永田氏からは、同軸プラズマガンを用いたマルチヘリシティ入射による電流駆動実験を行い、そこで観測されるプラズマの乱流的な電磁流体力学的(MHD)挙動による磁場の自己発生について報告がなされた。磁場とプラズマ流れの揺動との相関から平均 Electromotive 力を評価した結果、MHD ダイナモ電場が電流駆動に寄与していることが示唆された。
大阪工大の田原氏からは、2011 年に打ち上げるパルスプラズマロケットエンジンを搭載した超小型人工衛星プロイテレスの紹介と、搭載されるパルスプラズマエンジンの設計製作、性能特性、そのシステムの詳細な報告があった。
宇宙科学研究所の船木氏から、イオンエンジンのグリッド損耗過程を解析可能な数値ツール(JIEDI)の研究開発報告がなされた。JIEDI ツールによって、

様々なイオンエンジングリッド設計条件にて電子逆流条件まで解析可能であるとの報告があった。

名古屋大の横田氏からは、次世代の大電力推進機として期待されるMPD推進機に関連し、ホローカソードを陰極として用い、外部磁場を印加した定常作動可能な二次元MPD推進機の作動特性について報告がなされた。

東北大の荒巻氏からは、電気推進機の加速システムに磁気ノズルを用いる際に問題となるプラズマ離脱問題に関連した発表があった。この問題を解決する手法の一つとして、超アルヴェン速プラズマ流を生成し、プラズマ流を推進機から離脱させる方法があり、実際に超アルヴェン速プラズマ流を生成することでプラズマ離脱時のプラズマ流による大きな磁場変動の観測を行った結果について報告があった。

九州大の寺坂氏より直線ECRプラズマ中に方向性プローブ及び各種レーザーを導入し、大域的な流れ場を計測した結果の報告があり、イオン流線のディタッチメントを直接観測することに成功した。

名古屋大の榎氏からは、生成部と加速部を空間的に分離させた無電極電気推進機を開発し、作動のモデリング及び実験的検証を行った結果について報告があった。電子密度及び推力を推算し、投入電力、推進剤流量による違いを確認した。

東北大の稲吉氏からパルス電界大気圧プラズマCVD法を用いて薄膜成長を行う場合に、成長基板上の局所導電膜がプラズマに与える影響が紹介された。局所導電膜のサイズの縮小によってプラズマ不安定化の緩和・回避が実現できることを見出した。

最後に東北大の下川氏よりナノ秒オーダーの高電圧パルス放電を用いて気液混合状態での放電実験を行い、脱色や滅菌などの水処理技術への展望について紹介があった。液中でのプラズマ形成に及ぼす電極形状、処理水の高さ、気泡と溶液との作用時間、そして動作ガスに関して最適な条件が示された。

上記の講演・研究会の参加者は、学内外を含め50名以上であった。各講演内容に対して参加者による活発な討論が行われ、プラズマの流れが関与して様々な新機能性場の形成が行われ、多彩な研究への展開が図られている現状を認識でき、理論的、実験的側面ならびに応用についての理解に大きく寄与した。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、宇宙推進や核融合研究、材料開発から環境改善にいたるまで、様々な産業への応用が展開されつつあるプラズマ流に関する話題と研究成果が報告され、討論が行われた。プラズマの加速、加熱、流れ場の形成、計測手法などについて議論や情報交換を行い、自然界や産業応用研究など多様な場で応用がすすめられているプラズマ流に関し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進めることができた。プラズマ流が生み出す新機能性場を総合的に理解し、さらに大気圧下や気液混相中でのプラズマ形成や産業応用への展開についても紹介があり、共通の認識を深めることが出来たことは、今後の研究進展に対して大きな成果であった。本研究会活動を基点として、プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎研究および応用分野において、今後ますます研究の発展・理解につながることが期待される。

［４］成果資料

[1] R. Aramaki, *et al*., “Production of a super-Alfvenic plasma flow in a diverging magnetic nozzle”, Proc. of the 27th General Scientific Assembly of the Asia Plasma and Fusion Association (APFA2009), P27p2-43, pp.1-5, (2009).

[2] A Ando, *et al*., “Radio frequency ion source operated with field effect transistor based radio frequency system”, Review of Scientific Instrum., 81, 02B107 (2010).

[3] K. Terasaka *et al*., “Self-Calibrated Measurement of Ion Flow Using a Fine Multihole Directional Langmuir Probe “, Jap. J. Appl. Phys. 49,036101 (2010).

[4] K. Terasaka *et al*., “Experimental studies on ion acceleration and stream line detachment in a diverging magnetic field”, Phys. Plasmas 17, 072106 (2010).

[5] S. Yoshimura *et al*., “Parallel Ion Flow Velocity Measurement Using Laser Induced Fluorescence Method in an Electron Cyclotron Resonance Plasma”, Plasma Fusion Res. 5, S2052 (2010).

[6] Hirokazu Tahara,” Project of Osaka-Institute-of-Technology Electric-Rocket-Engine onboard Small Space Ship,” Frontier of Applied Plasma Technology, Vol.1, pp.109-111 (2008).

[7] T. Kanki, *et al*., “Magnetohydrodynamics simulation of kink instability and plasma flow during sustainment of coaxial gun spheromak”, Plasma and Fusion Research, 5, S2055 (2010).

[8] I. Funaki, *et al*., “Research and Development of an Ion Engine Grid Design Tool”, Theoretical and Applied Mechanics Japan, 59, (2011), in press.

[9] A.Tsushima and Y.Saitou, "Sheath-plasma criterion of fluid theory with a finite ion temperature" J. Phys. Soc. Jpn, 80, 045001 (2011).

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０２

採択回数	１	②	３

次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究

［１］組織

代表者：末光　眞希
（東北大学電気通信研究所）
対応者：末光　眞希
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
朝岡　秀人（日本原子力研究開発機構）
尾辻　泰一（東北大学電気通信研究所）
遠田　義晴（弘前大学理工学研究科）
遠藤　哲郎（東北大学学際センター）
川合　眞紀（東京大学新領域創成科学研究科、理化学研究所）
吉村　雅満（豊田工業大学工学研究科）
影島　博之（NTT 物性科学基礎研究所）
白石　賢二（筑波大学数理物質科学研究科）
斎藤　理一郎（東北大学理学研究科）
北島　正弘（防衛大学校）
末光　哲也（東北大学電気通信研究所）
日比野　浩樹（NTT 物性科学基礎研究所）
伊藤　隆　（東北大学学際センター）
安井　寛治（長岡技科大工学研究科）
佐野　栄一（北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター）
福山　敦彦（宮崎大学工学部・材料物理工学科）
成田　克　（山形大学理工学研究科）
永瀬　雅夫（徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部）
田中　悟　（九州大学大学院工学府）
吹留　博一（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費５万円，旅費５０万１千円

［２］研究経過

炭素原子の二次元シートであるグラフェンは、その二次元性に起因した優れた物性を有する。特に、シリコンよりも二桁高いというグラフェンの電子・正孔移動度は特筆に値する。ゆえに、グラフェンは次世代情報化社会の実現を可能にする次世代半導体材料として有望視されており、既に ITRS Roadmap に次世代チャネル材料として取り上げられている。

しかしながら、このグラフェンの製造プロセスの現状には大きな問題点がある。グラフェンの主製造法である「グラファイト塊からのスコッチテープを用いた劈開法」は微小片しか製造出来ないため、大量生産には不向きである。そのため、グラフェンを用いたデバイスの実用化のために、量産化に適したグラフェン製造の探索及び確立が急務となっている。更に、この製造法に対する要件として、

① 厚さが原子数層分の高品質な極薄膜
② CMOS との適合性
③ エッジの電子・化学状態制御
④ 良好なグラフェン/絶縁物の界面特性

という厳しい条件が ITRS Roadmap に付記されている。これらの内、①と②はグラフェン実用化に向けての最重要かつ緊急を要する課題である。

このような研究背景を鑑み、研究代表者は「次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成機構の解明とその制御」に関する研究会を通研共同プロジェクト研究会として実施した。本研究会の最終目標は「実用的なグラフェン製造プロセスの確立」に向けての共通認識の確立であり、当面の具体的な課題として「CMOS プロセスと適合する高品質グラフェン極薄膜製造法」を取り上げた。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。初年度は，「次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究」に関する第一回共同プロジェクト研究会を、平成 21 年 10 月 6 日に開催し、グラフェン研究に関わる国内の第一線の参加者８名による御講演に加えて、ドイツ・フリッツハーバー研究所の Horn 教授にも特別講演をして頂いた。これら著名な研究者による講演会を企画した結果、５０人以上もの聴衆が本研究会に参加し、グラフェン形成機構と制御に関する最新の理解を意見交換することができた。さらに本研究会での討論が契機となって、通研・NTT 物性基礎研究所間及び通研・フリッツハーバー研究所間の二つの共同研究がスタートした。

本年度は、こうした初年度で確立された研究ネッ

トワークを一つの機軸とし、通研国際シンポジウムとの共催により「第2回グラフェンデバイスに関する国際シンポジウム、ISGD2010」を開催した。同シンポジウムは、グラフェンのデバイス応用に関する技術と物理及びモデリングをテーマとし、内外の第一線で活躍する研究者19名（うち海外12名）の招待講演を含む計51件の発表を集め、91名の参加者と共に最先端の研究成果を交換することができた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

1. モノメチルシランを用いたSi基板上SiCエピタキシに関する成果

有機シランの一種であるモノメチルシラン（MMS）単一ソースによるガスソース分子線エピタキシ（GSMBE）法に関し、MMSガス分圧と基板温度の関数として成長速度を詳細に調べた。同成長系においては、熱的に活性化する高速成長が行われる低温領域と温度依存性のほとんどない低速エピ成長が行われる高温領域が存在することを見出した。この知見はMMSによるSiC薄膜成長機構の理解を大いに進展させるものである。

2. グラフェン・オン・シリコン技術に関する成果

申請者グループは上記1のMMS-GSMBE法を用いてSi基板上にSiC単結晶薄膜を成膜し、その表面Si原子を昇華で除去することによりSi基板上にエピタキシャルグラフェンを形成することに世界に先駆けて成功している。本年度は、このグラフェン・オン・シリコン（GOS）技術において、使用するSi基板の面方位を変化させることにより、グラフェン／SiC界面構造の制御が可能であることを見出した。この知見はSiCバルク基板にないGOS技術の特徴を明らかにしたもので、基板面方位によるグラフェン物性の制御につながるものと期待される。

3. グラフェン・オン・シリコンデバイス技術に関する成果

エピタキシャルグラフェンを用いた電界効果トランジスタ（FET）の作製プロセスに関して研究を行った結果、本年度は、ゲート絶縁体として高分子薄膜を用いることが可能であることを見出した。この知見はグラフェンFETプロセスを大幅に簡便化させるものと期待される。

4. Si(110)表面微細構造制御に関する成果

Si(110)表面は、自然に存在する究極の三次元微細構造である。本年度は、通電加熱されたSi(110)表面上にSi者エピタキシを行うことにより、ステップ端の揃った、ステップバンチングが起こることを見出した。これは自己組織的にSi基板ナノ構造を作りこむ方法であり、多くの応用が期待される。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究会での討論が契機となって、下記の通研・ドイツ(フリッツ・ハーバー研究所・Erlangen 大学)、通研・SPring-8、通研・防衛大学校・横浜国大間の共同研究が開始され、現在も継続している。

1. ドイツとの共同研究

昨年度の当該共同プロジェクト本研究会にて発表して頂いた独フリッツ・ハーバー研究所のHorn教授との討論から、Horn教授及びErlangen大学のSeyller教授とともに、微細加工SiC基板上でのエピタキシャルグラフェン形成過程の原子レベル研究に関する共同研究が開始され、現在なお進行中である。

2. SPring-8との共同研究

1.の微細加工SiC基板上でのエピタキシャルグラフェンの原子レベル観察のために、SPring-8の光電子顕微鏡(PEEM)を用いた研究を共同で行っている。2009A期、2009B期、2010A期、2010B期の4期連続で共同研究課題が採択されている。これらのPEEM観察結果から、微細加工パターンとグラフェンの構造・電子物性に、また基板面方位とグラフェン積層構造に、それぞれ強い相関が存在することが明らかとなった。

3．防衛大学校・横浜国大との共同研究

昨年度の当該共同プロジェクト本研究会を契機に共同研究を開始した防衛大学校、横浜国大との共同研究が継続中であり、申請者グループが開発したGOS材料において、初めてコヒーレントフォノン分光の観察に成功している。またその成果を踏まえ、この共同研究は「超短時間領域におけるグラフェンの電子・格子結合ダイナミクスの研究」として科研費新学術領域に採択されている。

［4］成果資料

[1] M Suemitsu and H Fukidome, “Epitaxial graphene on silicon substrates, ” J.Phys. D: Appl. Phys. 43, p.374012(11pp), 2010

[2] 半田浩之、宮本優、齋藤英司、吹留博一、末光眞希 “Si(111),(110),(100)基板上3C-SiC1薄膜の熱改質によるグラフェン・オン・シリコン形成”、表面科学、Vol.31, pp.352-358、2010

[3] M.Suemitsu and H.Fukidome, “Growth of Graphene on Silicon Substraes and Its Control over Interfacee Properties,” 2010 Villa Conference on Interaction Among

Nanostructures, p. 29, 2010
[4] Shunsuke Abe, Hiroyuki Handa, Ryota Takahashi, Kei Imaizumi, Hirokazu Fukidome and Maki Suemitsu , “Surface Chemistry Involved in Epitaxy of Graphene on 3C-SiC(111)/Si(111),” Nanoscale Res Lett. Vol.5, No.12, pp.1888-1891, 2010
[5] Maki Suemitsu, “Orientation-mediated control of interfacial structure in epitaxial graphene on silicon substrates ," the Second International Symposium on the Science and Technology of Epitaxial Graphene (STEG 2) , p.23, 2010
[6] Myung-Ho Jung, Hiroyuki Handa, Ryota Takahashi, Hirokazu Fukidome and Maki Suemitsu, “Epitaxial Graphene Field Effect Transistors on SiC substrate with Polymer Gate Dielectric,” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.589-590, 2010
[7] H. Handa, R. Takahashi, S. Abe, K. Imaizumi, M.H. Jung, S. Ito, H. Fukidome and M. Suemitsu, “TEM characterization of epitaxial graphene formed on Si(111), Si(110), Si(100),” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.125-126, 2010
[8] Maki Suemitsu, Hiroyuki Handa, Eiji Saito and Hirokazu Fukidome, “Epitaxial Formation of Graphene on Si Substrates: From Heteroepitaxy of 3C-SiC to Si Sublimation,” ECS Trans. Vol. 33, Issue6, pp.859-867, 2010
[9] Eiji Saito, Sergey N. Filimonov, and Maki Suemitsu, “Growth Rate Anomaly in Ultralow-Pressure Chemical Vapor Deposition of 3C-SiC on Si(001) Using Monomethylsilane,” Jpa. J. Appl. Phys., Vol.50, No. 1, pp.010203- 1-3 2011
[10] Arnold Alguno, Sergey N. Filimonov and Maki Suemitsu, “Step bunching and step “rotation” in homoepitaxial growth of Si on Si(110)-16×2,” Surface Science Vol.605, issue 7-8, pp.838-843, 2011

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０３

小電力無線通信方式

［1］組織

代表者：加藤 修三
（東北大学電気通信研究所）
対応者：加藤 修三
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
澤谷 邦男（東北大学大学院工学研究科）
安達 文幸（東北大学大学院工学研究科）
加藤 寧（東北大学大学院情報科学研究科）
吉岡 良雄（弘前大学大学院理工学研究科）
佐々木 重信（新潟大学工学部）
米山　努（東北工業大学）
越後　宏（東北学院大学）
塩川 孝泰（東北学院大学）
中橋 幸一（東京ドロウイング）
鍬野 秀三（日本大学工学部）
鹿子嶋 憲一（茨城大学工学部）
梅比良 正弘（茨城大学工学部）
橋本 研也（千葉大学工学部）
原田 博司（(独)情報通信研究機構）
中澤 勇夫（通信放送国際研究所）
栗原 宏（宏動　有限会社）

研究費：物件費 ¥12,253，旅費 ¥122,840

［2］研究経過

【本プロジェクトの目的・概要】

近年、積極的に導入されつつあるワイヤレスLAN(WLAN)の性能拡大及びワイヤレス Personal area network (WPAN)の研究が国際的に盛んになりつつある。前者は100m程度、後者は10 m 程度をサービスエリアとして通常 10 dBm 程度の小電力で、前者は300 Mbps、後者は数 Gbps の高速・超高速伝送を当面のゴールとしている。これらの分野では日本が PHY, MAC いずれの分野でも世界に後れをとっている。本研究会は東北大学電気通信研究所が中心となり、東北地方を中心にこれら無線の分野で活躍中の幅広い分野の研究者が集い、製品開発・応用までを見据えた日本における小電力無線通信研究開発の底上げを狙う。また、全体として/いくつかの機関の組み合わせで、外部資金獲得の母体を構成し、技術・Funding 両面から当該分野の無線技術の底上げを目指す。さらに、本研究会は研究の種々の課題について自由・滑達に議論ができる場とし、学習・議論通じ、若手研究者の育成にも資する。

本研究会では電気通信研究所が要となり、東北地方を中心に 12 の機関と研究活動を展開することにより、電気通信研究所の”拠点 CEO”としての地位をゆるぎないものとする。

【研究集会等の開催状況】

本年度は Seminar on Small Power Wireless Communications と題して、計4回の研究会を行った。各回には講演テーマを設けて、その分野において第一線で活躍している研究者にご講演いただいた。下記に各回の講演者と講演題目を示す。

■　第1回セミナ開催　開催日 7 月 2 日

テーマ「誤り制御技術の基礎と応用」

技術講演

・久保田 周治（芝浦工大教授），“誤り制御技術の基礎と応用”

■　第2回セミナ開催　開催日 8 月 23 日

テーマ「短距離無線通信と技術開発動向」

（電子情報通信学会　短距離無線通信研究会共催）

技術講演

1. 森川 博之（東大教授），“短距離無線通信(SRW)研究会発足にあたって”
2. 蓬田 宏樹（日経エレクトロニクス副編集長），“WLAN/WPAN の研究開発動向と SRW 研究会への期待”
3. Jason Trachewsky（PASSIF COO），“Wireless LAN　Global Standardization and R&D Trends”
4. 加藤 修三（東北大教授）“ミリ波 WPAN の国際標準化(IEEE802.15.3c, 802.11ad)と研究・開発動向”
5. 溝口 匡人（NTT 未来ねっと研究所 ワイヤレスシステムイノベーション研究部 電波システム技術研究グループ グループリーダ），“WLAN の国際標準化(IEE802.11ac)と研究・開発動向”
6. 原田 博司（NICT 新世代ワイヤレス研究センター ユビキタスモバイルグループ グループリーダ），“スマートグリッドの国際標準化(IEEE802.15.4g)と研究・開発動向”
7. 福永 茂（沖電気研究開発センタ ネットワークシステムラボラトリ ラボラトリマネージャ），

“ZigBee (IEEE802.15.4d) : 標準化と研究・開発動向”

8. パネルディスカッション
“短距離無線通信に対する期待と将来展望”
司会 : 加藤 修三 (東北大)
パネリスト : Jason Trachewsky (PASSIF), 溝口 匡人 (NTT), 原田 博司 (NICT), 福永 茂 (沖電気), 山本 尚生 (東京都市大), 上原 一浩 (NTT), 大鐘 武雄 (北大)

■ 第3回セミナ開催 開催日 12 月 13 日

テーマ「Wireless sensor systems and global standardization」

技術講演

1. Abbas Jamalipour (Professor, University of Sydney), “Current and Future Wireless Communications Networks”
2. 島田 修作 (横川マニュファクチャリング (株) 先行技術企画部マネージャ) “Trends of Reliability Enhancement behind the Global Standardization in Wireless Sensor Network”

■ 第4回セミナ開催 開催日 12 月 27 日

テーマ「Propagation Characteristics for Millimeter-wave and Cellular Communications」

技術講演

1. 【Keynote speech】Shuzo Kato (Professor, Tohoku University), “Super Broadband (60 GHz) Indoor Wireless Communications and Their Roll in 4G Mobile Communications Era”
2. 【Invited talk 1】Suguru Kameda(Assistant Professor, Tohoku University), S. Tomita, N.H.Tran, Y. Miyake, K. Komatsu, H. Oguma, N. Izuka, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi and K. Tsubouchi (Tohoku University), “Influence of Hand Tremor for 60-GHz-Band Broadband Wireless Communication Terminal Based on Advanced Kiosk Model”
3. Yosuke Sato (Graduate student, Tohoku University), “Design and Performance of Beam-Forming Antenna with Discrete Phase Shifter for Practical Millimeter-Wave Communications Systems”
4. Kazuya Fujita (Graduate student, Tohoku University),“Wireless Harness Communications System Using Radio Hose”
5. Hirokazu Sawada (Assistant Professor, Tohoku University), “Millimeter-wave Propagation Characteristics and Channel Modeling”
6. 【Invited talk 2】Lawrence Materum (Associate Professor, De La Salle Univ., Philippines), “Evaluation of Multipath Clusters in a Multi-antenna Cellular Environment”

［3］成果

（3－1）研究成果

第1回セミナでは、“誤り制御技術の基礎と応用”についての講演が行われ、現在の小電力無線通信技術で利用されている誤り制御技術について、研究者間での情報共有を行うことができた.

第2回セミナは、電子情報通信学会短距離無線通信研究会と共催し、IEEE802 国際標準化委員会において実際に技術提案を行っている研究者から、今後の無線通信技術の国際標準化動向について、情報を得ることができた。またパネルディスカッションでは、“短距離無線通信に対する期待と将来展望”について、電子情報通信学会の無線通信に関連する各研究会代表者から発表が行われ、今後の小電力無線通信の研究の方向性について有益な議論が行われた。

第3回セミナでは、小電力無線を用いたセンサネットワークの標準化動向と無線通信の将来について講演が行われ、今後のスマートグリッドなどに利用される無線技術についての知見が得られた。

第4回セミナでは、無線通信方式を決定するのに重要な電波伝搬をテーマとして講演が行われ、ミリ波通信、セルラー通信における伝搬路の特徴について知見を得ることができた。

（3－2）波及効果と発展性など

平成 21 年度 3 月に本共同プロジェクト研究の成果をベースに電子情報通信学会に“短距離無線通信時限研究会”を提案し、研究会として承認された。そして平成 22 年 8 月 23 日には、東北大学東京分室で本共同プロジェクト研究会と短距離無線通信研究会の共催研究会を開催し、参加人数 150 名という記録的な研究会を開催し、本研究分野における日本の研究活性化を強力に推進する一助となった。今後もこの研究会を通じて全国展開を図る予定である。

東北地方で開催したセミナでは、東北地方の研究機関からの参加者に向けて情報を発信し、電気通信研究所の“拠点 CEO”としての役割に貢献した。また若手研究者の参加増により、若手研究者の啓蒙・育成に資することができた。

今後も、他の機関と協働し、外部資金獲得の母体を構成し、技術・Funding 両面から当該分野の無線技術の底上げを目指していく。

［4］成果資料

【招待講演】

1. 加藤修三, “ミリ波 WPAN の国際標準化(IEEE802.15.3c, 802.11ad)と研究・開発動向,” 電子情報通信学会技術研究報告書 SRW 研究会, SRW-2010-4, 8 月 23 日, 2010 年.
2. Shuzo Kato,“Bright Future of Millimeter Wave: Super Broadband Wireless Communications and Related Technologies,” Proceedings of GSMM 2010, pp.67-70, Korea Apr. 14, 2010.

【論文】

1. Zhou Lan, Chin Sean Sum, Junyi Wang, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, “Prioritized Aggregation for Compressed Video Streaming on mmWave WPAN Systems, ”IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E93-A, No.12, pp.2704-2707, Dec.2010.
2. Chin-Sean Sum, Zhou Lan, Junyi Wang, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, “On Communication and Interference Range of Multi-Gbps Millimeter-Wave WPAN System, ”IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E93-A, No.12, pp.2700-2703, Dec.2010.
3. Chang-Woo Pyo, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, “Throughput Comparison of Hybrid Slotted CSMA/CA-TDMA and Slotted CSMA/CA in IEEE 802.15.3c WPAN,”IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E93-A, No.8, pp.1531-1543, Aug.2010.
4. Chang-Woo Pyo, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, “Numerical Throughput Analysis on Channel Interference in IEEE 802.15.3c WPAN Based on Hybrid Multiple Access of CSMA/CA-TDMA,”IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E93-B, No.6, pp.1502-1514, June 2010.
5. 豊田一彦, 安藤真, 飯草恭一, 沢田浩和, 関智弘, 西清次, 北沢祥一, 三浦周, 藤田義次, 内村弘志, 平地康剛, “ワイヤレス・パーソナルエリア・ネットワークのシステム設計に適した回転軸対称なビームを持つアンテナモデル, ” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-B, No.5, pp.781-790, May. 2010.

【国際会議】

1. Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato,“Evaluation of CMOS Power Amplifier for Millimeter Super Broadband Wireless Systems with Beam Forming Antenna,”Proceedings of APMC 2010, Yokohama Dec. 2010.
2. Hirokazu Sawada, Kazuya Fujita, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “Impulse Response Model for the Cubicle Environments at 60GHz,” Proceedings of APMC 2010, Yokohama Dec. 2010.
3. Shunya Takahashi, Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, “Connection Probability Enhancement Using Artificial Reflectors for Millimeter Wave Communications,” Proceedings of APMC 2010, Yokohama Dec. 2010.
4. Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Shuzo Kato, “Intra Car Communications System Using Radio Hose,” Proceedings of APMC 2010, Yokohama Dec. 2010.
5. Yosuke Sato, Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Shuzo Kato, “Design and Performance of Beam-forming Antenna with Discrete Phase Shifter for Practical Millimeter-Wave Communications Systems,” Proceedings of APMC 2010, Yokohama Dec. 2010.
10. Lan, Zhou, Wang, Junyi, Gao Jing, Sum Chin-Sean, Kojima Fumihide, Baykas Tuncer, Harada Hiroshi, Kato Shuzo, “Directional Relay with Spatial Time Slot Scheduling for mmWave WPAN Systems ,” Proceedings of 2010 IEEE 71st VTC (VTC 2010-Spring) , Taiwan May 2010.
11. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, “Impulse Response Model and Parameters for Indoor Channel Modeling at 60GHz,” Proceedings of 2010 IEEE 71st VTC (VTC 2010-Spring), Taiwan May 2010.
12. Sum Chin-Sean, Lan Zhou, Wang Junyi, Baykas Tuncer, Funada Ryuhei, Rahman Mohammad Azizur, Harada, Hiroshi, Kato Shuzo,“A Cross Layer Interference and Coexistence Model for Millimeter-Wave WPAN with Directional Antennas,” Proceedings of 2010 IEEE WCNC, Australia Apr. 2010.

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０４

採択回数	１　②　３

複素ニューラルネットワークの実用化

［1］組織

代表者：廣瀬　明
（東京大学大学院工学系研究科）
対応者：佐藤　茂雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中島　康治　（東北大学電気通信研究所）
黒江　康明　（京都工芸繊維大学大学院
工芸科学研究科）
合原　一幸　（東京大学生産技術研究所）
田中　剛平　（東京大学生産技術研究所）
青木　宏之　（東京高等工業専門学校）
古橋　武　（名古屋大学大学院工学研究科）
橘　完太　（工学院大学情報学部）
Eckhard S. M. Hitzer　（福井大学工学部）
松井　伸之　（兵庫県立大学大学院工学研究科）
礒川　悌次郎　（兵庫県立大学大学院工学研究科）
西村　治彦　（兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科）
金城　光永　（琉球大学工学部）
村瀬 一之　（福井大学工学部）
根本 幾　（東京電機大学情報環境学部）
西川 郁子　（立命館大学情報理工学部）
新田　徹　（産業技術総合研究所）
萩原　将文　（慶応義塾大学理工学部）
木ノ内　誠　（山形大学大学院理工学研究科）
小林　正樹　（山梨大学工学部）
研究費：物件費５万０千円，旅費 43 万１千円

［2］研究経過

高度に成熟した Si-LSI 技術に支えられ，現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で，パターン認識や学習など，フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し，脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは，パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。また自律的動作による解探索や学習によるエラー訂正・適応的動作が可能であり，こうした機能の重要性は今後高まっていくと予想される。ニューラルネットワークモデルのひとつとして複素ニューラルネットワークが提案されており，ニューロンの出力が振幅と位相で表現されるため，波動的性質を有することが知られている。またパターン認識，画像処理，時系列予測等において，位相情報を活用する波動的情報処理の優位性が知られている。代表者は複素ニューラルネットワークにいち早く注目し，レーダー画像の画像処理等へ応用しその有効性を明らかにしており，本分野において世界的に主導的役割を果たしてきている。また最近では，この技術を東南アジアの地雷発見等に応用し重要な社会貢献を果たしてきている。

人間と環境を調和させるには，要求される情報処理を障壁なく効率的に行うことが必要不可欠であり，アナログ情報，デジタル情報，時間情報，位相情報などを適材適所で利用することが肝要である。本プロジェクトでは，アナログ情報，位相情報を効率的に扱うことが可能な複素ニューラルネットワークの情報処理能力を数理解析により明らかにし，ハードウェアの開発と併せて実用化技術として確立することを研究目的とする。また派生技術として量子ニューラルネットワークの計算能力を明らかにすることも目的とする。

具体的には、まず，複素ニューラルネットワークの情報処理能力を神経回路の統計力学やクリフォード代数，量子断熱定理等の手法を用いて評価する。その中で，波動ダイナミクスと量子トンネリングの有効性を明らかにし，画像処理等実応用における優位性を明らかにする。また，FPGA や量子デバイスを利用しハードウェアとして実現し，すぐに実用化できる技術として確立する。本所では FPGA と量子デバイスによる実現を主な研究テーマとする。

第二年度にあたる本年度は，12 月 21 日，22 日に研究会を開催し，本研究プロジェクトと関係する各メンバーの研究成果を報告し，今後の方向性について議論した。以下に研究会のプログラムを示す。

1)「循環性を持つデータの学習アルゴリズム」 田中剛平（東大）
2)「ロータ連想記憶」 北原　倫理，小林　正樹（山

梨大)
3)「局所的断熱変化を適用した断熱的量子計算の計算時間に関する考察」 金城 光永（琉球大）
4) "Design of complex-valued functional link networks using genetic algorithm", Md. Faijul Amin（福井大）
5)「双曲線ニューロンの特性について」新田 徹(産総研)
6)「クリフォード代数表現リカレントニューラルネットワークのモデルとそのダイナミックス」 黒江康明（京都工繊大）
7)「パターン認識とクリフォード代数について」 橘完太（工学院大）
8)「Conformal Geometric Algebra を用いたクラスタリング」 Pham Minh Tuan（名大）
9) "Algebraic foundations of split hypercomplex nonlinear adaptive filtering", Eckhard Hitzer（福井大）
10)「自己組織化マップにおける複素内積メトリックによる勝者決定」 廣瀬 明（東大）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度はまず、イメージングに関するアプリケーションの展開を進めた。具体的には、埋設されたプラスチック地雷を可視化するための地中レーダシステムにおいて、特に地雷特徴クラスの一致度を求める際、複素リング自己組織化マップを利用すると、このタスクが高速に実現されることを見出した。またセキュリティ・スクリーニング用のミリ波レーダシステムに利用する研究も進め、特に特徴量空間のメトリックとして複素内積を用いることによって、クラス分けがより的確に行われることを実験的に実証した。さらに複素ニューラルネットワークの利点とその起源を具体的に広くアピールすべく、IEEE WCCI-IJCNN,等の国際会議におけるテュートリアルセッションおよびスペシャルセッションを本共プロ研究者が中心となってオーガナイズし、白熱の議論を展開した。これらの実績は、IEEE Computational Intelligent Society でも高く評価されている。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト遂行により以下の成果が得られると考えられる。
・複素ニューラルネットワーク理論の構築と，情報処理能力の解明。
・レーダー画像解析などパターン認識における波動的情報処理・位相情報処理の優位性を明らかにすること。
・量子波動性を導入したニューラルネットワークの提案と工学的応用。
・FPGA や量子デバイスによる複素ニューラルネットワークのハードウェア化。
・複素ニューラルネットワークを応用した情報処理システムのプロトタイプの実現と実用化。

［4］成果資料

1)A.Hirose, “Nature of complex number and comlex-valued neural networks,” (invited), Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, vol.6, no.1, pp.171-180, 2011.
2)R.Natsuaki A.Hirose, “SPEC method - A fine co-registration method for SAR interferogram,” IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, vol.49, no.1, pp.28-37, 2011.
3)Y.Nakano A.Hirose, “Adaptive identification of landmine class by evaluating the total degree of conformity of ring-SOM,” Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, vol.12, no.1, pp.23-28, 2010.
4)A.Hirose, Y.Nakano, “Applications of complex-valued self-organizing maps to ground penetrating radar imaging systems, *Self-organizing maps: New achievements*, In-Tech, (January 2011) 323-338, ISBN 978-953-307-546-4
5)Eckhard Hitzer, “Angles Between Subspaces Computed in Clifford Algebra,” in T.E.Simos et al. (eds.), ICNAAM 2010: Int. Conf. of Num. Analysis and App. Math. 2010. AIP Conf. Proc., vol.1281, pp. 1476-1479, 2010.
6)Eckhard Hitzer, “Interactive visualization of plane groups,” Symmetry: Art and Science, Spec. Iss. of The Journal of the Int. Soc. For the Interdisc. Study of Symmetry (ISIS): G. Lugosi, D. Nagy (eds.), Proc. of Symmetry: Art and Science, 8th Congress of ISIS, Days of Harmonics, Gmünd, Austria, 23-28 Aug. 2010, vol.2010(1-4), pp.80-83, 2010.
7)Eckhard Hitzer, “Angles between subspaces,” in V.Skala, E.Hitzer(eds.), Workshop Proceedings: Computer Graphics, Computer Vision and Mathematics 2010, Sep. 07-10, 2010, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic, published by UNION Agency, Plzen, 2010.
8)新田徹, 「複素ニューロンの特異性について」、電子情報通信学会論文誌, vol.J93-D, no.8, pp.1614-1621, 2010.
9)Minh Tuan Pham, Kanta Tachibana, Tomohiro

Yoshikawa and Takeshi Furuhashi, “Feature Extraction based on Space Folding Model and Application to Machine Learning,” Proc. SCIS & ISIS, pp.322-327, 2010.
10)Kanta Tachibana and Eckahrd Hitzer, “Geometric Algebra Neural Networks,” Computer Graphics, Vision and Mathematics 2010 Abstract Proceedings, 2010.
11)Kanta Tachibana, Minh Tuan Pham, Tomohiro Yoshikawa and Takeshi Furuhashi, “A Note on Geometric Algebra and Neural Networks,” Computer Graphics, Vision and Mathematics 2010 Abstract Proceedings, 2010.
12)T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, "Commutative Quaternion and Multistate Hopfield Neural Networks," Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2010), pp.1281-1286, 2010.
13)N.Kaihatsu, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, “Performance Analysis of Complex -valued Neural Networks with Stochastic Resonance,” Proceedings of SICE Annual Conference (SICE2010), pp.233-237, 2010.
14)M.Kimura, T.Isokawa, A.Saitoh, N.Kamiura, and N.Matsui, “An Analysis on Image Recognition in Complex-Valued Synergetic Computers," Proceedings of Joint 5th Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2010), pp.1403-1408, 2010.
15)Md. Faijul Amin and Kazuyuki Murase, “Genetic Algorithm Based Design of Complex-Valued Functional Link Networks,” 20th Symposium on Intelligent Systems (FAN 2010), Tokyo, Japan, Sept 25-26, 2010, ID29, 6 pages, 2010.
16)山本昌弘, 黒江康明, 飯間等, 「Particle Swarm Optimization によるリカレントスパイキングニューラルネットワークの学習法」, 計測自動制御学会論文集, vol.46, no.11, pp.685-691, 2010.
17)森禎弘, 黒江康明, 「周期発現パターンをもつ遺伝子ネットワークの学習による設計法」, 計測自動制御学会論文集, vol.46, no.11, pp.713-722, 2010.
18)Yasuaki Kuroe and Tomokazu Ueyama, “Learning Methods of Recurrent Spiking Neural Networks Based on Adjoint Equations Approach,” Proc. of WCCI 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.2561-2568, 2010.
19)M.Kitahara, M.Kobayashi, “Fundamental Abilities of Rotor Associative Memory,” 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2010), pp.497-502, 2010.
20)北原倫理, 小林正樹, 服部元信, 「ロータ連想記憶による偽記憶の削減」, 電気学会論文誌 C, vol.131, no.1, pp.109-115, 2011.
21)北原倫理, 小林正樹、「ロータ連想記憶の勾配降下学習」, 電気学会論文誌 C, vol.131, no.1, pp.116-121, 2011.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０５

人間と調和性の高い情報システム構築のための人間特性理解

［1］組織

代表者：矢内　浩文
（茨城大学工学部）
対応者：中島　康治
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
早川　美徳（東北大学教育情報基盤センター）
赤羽　秀郎（茨城大学工学部）
石田　文彦（富山工業高等専門学校）
荒木　修（東京理科大学理学部）
中島　康治（東北大学電気通信研究所）
早川　吉弘（宮城工業高等専門学校）
佐藤　茂雄（東北大学電気通信研究所）
田中　敦（山形大学大学院理工学研究科）
佐野　雅己（東京大学大学院理学系研究科）
菅原　研（東北学院大学教養学部）
金城　光永（琉球大学工学部）

研究費：物件費０円，旅費２５万円

［2］研究経過

情報システム，特にヒューマンインターフェイス，を人間中心設計（human-centered design）しようという動きが起こって久しい。しかし，主に２つの理由で目的が達成されていない。一つには，そもそも人間特性の（本質的な）理解が進んでいないこと。もう一つは，（断片的にではあれ事例が蓄積されている）人間特性を，システム設計へ適用するための具体的な指針が示されていないことである。この研究では，第二の観点に配慮しつつ主に第一の観点で問題を整理し解決することを目的とした。

具体的には，次のテーマに焦点を当てて研究を進めた。

- “数の把握と表出”，“文字の知覚と探索”を素材に人間の特性（反応時間，エラー率など）に関するデータを分析，考察する。
- 前項の結果を数理的にモデル化し，その特性の要因となる脳および身体メカニズムを推定する。

研究内容の焦点は次の通りである。

- 数に関すること──情報システムを操作する際には，候補から選択する作業を頻繁に繰り返すことになる。そのような選択は，数の把握（例。いくつあるうちの何番目か）と表出（例。希望する候補を選択する，適切な回数キーを叩く）に還元できる。そこで，数の把握と表出の反応時間やエラー率を分析する。
- 文字に関すること──文字の知覚に要する時間が，文字の視覚情報（形），文字の聴覚情報（音）とどのような関係にあるかを分析する。また，文字を探索する課題を素材に，知覚とエラーのメカニズムを推定する。

【注】上記２項の考察を進めるにあたっては，「脳」の特性の分析という視点ではなく，《脳＋身体》の特性の分析という視点を導入する。一例を挙げれば，課題を遂行する際の行為（行動）が人間特性に及ぼす好影響と悪影響に注目する。

本年度はプロジェクトの２年目であった。昨年度の討論会等を通して，メンバー間で問題に対する理解の共有と，問題を解決するために利用可能な理論などに関する情報交換を行なった。すなわち，人間特性にみられる確率論的現象（ゆらぎなど）を分析するための手法の情報交換を行ない，プロジェクト研究のターゲットとするデータをどのような観点で分析してゆくべきか討論した。それを踏まえて，本年度はテーマを絞った討論を行なった。つまり，文字探索課題における見落としエラーの考察を中心に据えた。まず，紙面（空間）に分布する特定文字の探索と見落としを，時間的に変動するターゲットの追跡の正確さと対比することにより，文字の見落としに見られる人間の特性がこの課題に固有のものなのか，人間に内在するより一般的な性質の表われなのかについて討論した。そして，このように予測と選択を伴う情報処理を物理現象と対比することで，更に広い視野での考察を目指した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度のプロジェクト研究では，2010年12月20日に東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟にて開催した研究討論会を中心に，個人レベルでの討論も実施した。研究討論会での話題提供者とテーマは以下の通りである。

◆矢内　浩文（茨城大学工学部）「文字探索課題における見落としエラーについて」

◆赤羽　秀郎（茨城大学工学部）「確率変動ターゲット追跡課題に対する人の特性」

◆佐野　雅己（東京大学大学院理学系研究科）「予測と選択を伴う情報処理と物理法則」

討論会では，話題提供者に加えてプロジェクトメンバーが一堂に会し，上記テーマに即しつつ，加えてそれぞれの現象の考察や解析手法などが人間特性理解にどうつながりうるかを議論した。そこから，ゆらぎの統計的解析や，リズムの分析が人間特性理解にも有用なツールであることが確認できた。以下，各話題について簡単に述べる。

矢内は，一枚の用紙にプリントされた文字列の中からひらがなの「の」を探すという単純な課題に関して，そのエラー分布の分析結果を紹介した。最も注目すべき結果は，実験協力者には文の内容を理解することは不要だと明言しているにもかかわらず，文字列が自然な文章である場合と，意味のないランダム文字列の場合でエラー数に有意な差があったことである。この結果が意味するところの考察は今後の課題だが，人間の無意識的情報処理の性質の一端を解明するきっかけとなると考えている。

赤羽は，同期的タッピング課題（周期的なペースメーカー音にできるだけ同期するように指でタップする課題）の間隔分布にゆらぎを導入した。更に，タッピング課題ではタップする／しない（オン／オフ）のみを計測するのに対し，連続的な変位を計測することで，人間の反応（戦略）をより詳細に計測することを可能にした。それが確率変動ターゲット追従課題である．変動の統計的性質に応じて人間の追従特性が異なることを，スペクトル解析によって示した。

佐野は，熱・統計力学における基本問題（マックスウェルの悪魔のたとえで提起され，長い間パラドックスと考えられていた問題）に，情報を用いた制御によるエネルギー獲得という形で解を示した研究を紹介した。物理現象における予測と選択という観点が，人間特性の分析に結びつく可能性が議論された．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，東北大学内外の研究者の交流が飛躍的に活性化した。また，異分野の研究手法について互いに情報交換することができたため，本プロジェクトで掲げた目標の達成に留まらず，新たな課題にも対応しうるネットワークが形成できた。

［4］成果資料

(1) 古橋 翔，早川美徳，文のつながりからみた文章構造の特徴，日本物理学会2011年年次大会，2011年3月28日，新潟大学.

(2) Y. Hayakawa, Spatiotemporal dynamics of skeins of wild geese, Europhysics Letters, vol. 89, 48004 (2010).

(3) H.-R. Jiang, N. Yoshinaga, M. Sano, Active Motion of Janus Particle by Self-thermophoresis in Defocused Laser Beam, Phys. Rev. Lett., Vol. 105, 268302 (2010).

(4) S. Toyabe, T. Sagawa, M. Ueda, E. Muneyuki, and M. Sano, Experimental demonstration of information-to-energy conversion and validation of the generalized Jarzynski equality, Nature Physics 6, 988 (2010).

(5) 和久屋 寛，石隈敬浩，SOM型パターン生成器：自己組織化マップの逆投影に基づいた新規パターンの生成とその応用，電気学会論文誌C, Vol.130-C, No.5, pp.882-888, May 2010.

(6) H. Wakuya and M. Mutsukado, Biomimetic signal decomposition by a neural network with structural pruning, ICIC Express Letters ── An International Journal of Research and Surveys, Vol.4, No.6(B), pp.2397-2402, Dec. 2010.

(7) H. Hayashi and Y. Nonaka, Cooperation and competition between lateral and medial perforant path synapses in the dentate gyrus, Neural Networks, Vol.24, No.3, pp.233-246, 2011.

(8) T. Samura and H. Hayashi, Directional spike propagation by anisotropic inhibitory connections modulated through STDP in a recurrent network, Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Krakow, pp.241-244, 2010.

(9) T. Onomi, Y.Maenami, and K.Nakajima, Superconducting Neural Network Solving a Combinatorial Optimization Problem, 2010

Applied Superconductivity Conference, Washington D.C., USA, Aug. 2010.
(10) R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, 4-bit SFQ Multiplier Based on Booth Encoder, 2010 Applied Superconductivity Conference, Washington D.C., USA, Aug. 2010.
(11) S. Sato, A. Ono, M. Kinjo, and K. Nakajima, Performance of Adiabatic Quantum Computation using Neuron-like Interconnections, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 39-42, Krakow, Poland, Sep. 2010.
(12) T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, Discrete Higher Order Inverse Function Delayed Network, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 615-618, Krakow, Poland, Sep. 2010.
(13) K. Kurose, T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, Analyses of Coupled Hindmarsh-Rose Type Bursting Oscillators, Proceedings of the 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 619-622, Krakow, Poland, Sep. 2010.

採択回数	1	(2)	3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０６

視覚科学の学際的アプローチに向けて

［１］組織
代表者：筒井健一郎
（東北大学生命科学研究科）
対応者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
酒井　宏（筑波大学）
西田眞也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
村上郁也（東京大学）
宇賀貴紀（順天堂大学）
河原純一郎（産業技術総合研究所）
田中真樹（北海道大学）
一川　誠（千葉大学）
吉田 正俊（生理学研究所）
富田 浩史（東北大学）
金子寛彦（東京工業大学）
齋木　潤（京都大学）
小川　正（京都大学）
渡邊克己（東京大学）
七五三木聡（大阪大学）
栗木一郎（東北大学）
松宮一道（東北大学）
佐藤 暢哉（関西学院大学）
研究費：物件費０円，旅費 29 万５千円

［２］研究経過

人間の情報処理機構を理解する事は，今後の情報通信技術の発展にとって必要不可欠である．例えば，インターネットの発達は，多くの人に恩恵をもたらしたが，新しい技術の発達は必ずしも人に使いやすいものではないし，また利用できない人を排除する傾向も生み出している．そのような環境の中で，より人間性豊かな社会を作り出すためには，人間の脳機能を理解しその特性に合わせた技術を確立することが必要である．一方，脳機能の理解のためには，生理学，心理学，情報科学，工学，生物学，医学など多岐にわたる分野で様々なアプローチにより研究が進んでいる．それぞれの分野での研究の発展はめざましいものがあるが，脳機能の全体的理解からその応用までを考えると，分野をまたぐ情報交換や共同研究の重要性は明らかである．特に，電気通信研究所のおける研究としては，人を技術のユーザーとして全体的に捉えることも含めた視点の上で，脳機能の理解を考える立場がもとめられる．脳の基礎研究から，情報通信技術への応用も想定できるような人間の情報処理機能全体を考える研究ための情報交換の場を持つことが本プロジェクトの目的である．

本プロジェクトは，本年度が２年目であり初年度に引き続き、議論の時間確保によって，問題点を深く掘り下げることができた。以下，研究活動状況の概要を記す。

平成21年9月30日 － 10月１日
研究会
代表者筒井，分担者富田，宇賀、金子、村上、渡邊、佐藤、一川，酒井、七五三木、田中、西田、吉田が来所し，富田、宇賀、金子、渡邊、佐藤の講演に基づき，学内、近隣大学の参加者も含めて，関連研究分野の展開にいて議論した．各講演と議論について２時間弱の時間をとり，個別の実験内容，周辺分野の動向および今後の展開など広い分野での議論することができた．それに加えて懇親会において「視覚科学の最近の動向と将来について」のタイトルのもと村上が講演し自由な雰囲気での議論を実現することができた。

［３］成果
（３－１）研究成果
以下に研究会において議論した各テーマについて，その概要を記す．

１．遺伝子導入による新しい視覚システムの構築
（富田浩史）
講演内容は，失明者の視覚を回復する方法のひとつである緑藻類クラミドモナスより見出されたチャネルロドプシン-2（ChR2）の導入の研究に関するものである。富田らは、アデノ随伴ウイルスベクターを用いてChR2 遺伝子を遺伝盲ラットの神経節細胞に導入することによって、神経節細胞の光受容機能獲得を成功している。その行動学的な評価において、高い解像度と感度（ただし短波長の青色領域に限る）も確認している。さらにカニクイザルでの同様の知見からこの手法の有効性について明らかにした。こ

の講演に対して、まず将来性の高い技術である点も確認された。さらに行動学的な視機能の評価の妥当性や、回復した視覚の正常眼との違い（原理的に同じにはできない）が及ぼす影響などについての議論がなされた。

２．大脳皮質MT野研究の最近の動向（宇賀 貴紀）
講演内容は，　運動視に強く関連するといわれ、心理物理学的研究との対応もよく理解されている大脳領野、MT 野に関するもので、その受容野の形状についてである。通常受容野は網膜（あるいは外界）の座標系に対する神経細胞の情報受容範囲を示す。これは各細胞が視野のどこを見ているか（処理しているか）という重要な情報を示すために価値のある視点である。しかし、実際の情報の流れを考えると、MT野の細胞はそれより下位（網膜に近い）細胞からの出力を入力としている。つまりMT野の細胞の受容野として、V1（1次視覚野）に対する広がりを考えることができる。このユニークな視点でMT野の空間特性を検討した結果、V1は網膜を対数極座標で近似し、MTはその座標系に対して等方的なガウス関数で近似できる受容野特性を持つことを示した。対数極座標表現以外のそれと類示した関数表現の可能性についての議論もあったが、受容野に関する電気生理学的知見に対する新規の切り口である点で今後の発展性についても指摘された。

３．通常重力および過重力環境における運動物体の知覚的軌跡（金子 寛彦）
講演内容は，　重力加速度に起因する運動物体に対する知覚的なバイアスに関するものである。重力加速度条件を変え、運動する視覚刺激の加速度知覚の評価を行った。その結果、知覚への影響は、実際の重力方向によるものと身体（および網膜）の下向き方向によるものの２つが関与していることが明らかにされた。視覚系が他の感覚の影響を受ける例であり、異種感覚の統合過程理解の重要性などについての議論がなされた。

４．聴覚が視覚に及ぼす顕在的・潜在的影響（渡邊 克巳）
講演内容は、視聴覚刺激の相互作用に関するもので、近年の異種感覚統合研究の発端ともいえるストリーム／バウンス刺激を用いた実験についてである。２つの視覚刺激が正面衝突するような刺激において、その瞬間に無音であると両者はお互いにすり抜けて運動を継続するように見えるのに対して、音がすると衝突して跳ね返ったように見える。多くの条件による実験から、この音の知覚に対する注意の効果には、顕在的な場合と潜在的な場合の存在することを示した。顕在過程と潜在過程の分離方法や両者の違いの本質的な意味についての議論がなされた。

５．ルート情報を表現する頭頂葉内側部ニューロン（佐藤 暢哉）
講演内容は．行動するためのルートの判断の処理系をさぐるための、仮想空間を移動する課題に対するサルの神経応答に関するものである。この課題を遂行しているサルの頭頂葉内側部の神経応答の計測から，場所によって活動性を変化させる細胞や、ある場所で右に曲がるなど場所と行動に関連する細胞、目的の場所に関連する応答をする細胞などが見つかった。これらは能動的に課題を遂行するときにみられることから、視覚刺激に対する直接的な応答ではなく、行動に関連したより抽象化されたものと考えることができる。仮想空間の利用という制約の問題や実際になにを表現しているかの判断の難しさなどについての議論、また将来的な研究の方向性などについての議論がされた。

（３－２）波及効果と発展性など
長時間の議論を確保したことから，研究の意義や本質的問題について検討することができた．議論された内容は、各研究の問題意識の共有に繋がるものでありその意義は大きい．今回のテーマから、異種感覚の相互作用から知覚と行動との関連へと繋がる流れをみることができ、今後人間の情報処理過程を総合的にとらえるために必要な問題を理解することの重要性を認識する機会となった。

MT の細胞の受容野を考える上で V1 の特性を考慮することは処理の階層性の重要な側面であるし、重力方向知覚や聴覚と視覚の関連は異種感覚の並列処理の統合過程の理解を促進する。また、視覚の回復はそれ自身重要であるが、その評価には動物であれば行動によるものが必要となる。またヒトに対しても単に視力による評価でよいかどうかも今後検討すべき問題といえる。行動と認識の関連では、行動時における能動性あるいは意図の影響を知覚や認識の問題に含めて考えることの重要性が理解された。これらはそれぞれの研究分野の将来的発展に寄与する議論であるとともに、情報通信技術の将来にも大きな意義のあるものであったといえる。

［４］成果資料
以下に，研究会における議論に関連する研究論文を資料としてあげる．

Sugano E, Isago H, Wang Z, Hiroi T, Tamai M, Tomita H (2010) Immune responses to adeno-associated virus type 2 encoding channelrhodopsin-2 in a genetically blind rat model for gene therapy. Gene Therapy 18: 266-274

Tomita H, Sugano E, Isago H, Hiroi T, Wang Z, Ohta E, Tamai M (2010) Channelrhodopsin-2 gene transduced into retinal ganglion cells restores functional vision in genetically blind rats. Exp Eye Res 90:429-436.

Tomita H, Sugano E, Yawo H, Ishizuka T, Isago H, Narikawa S, Kugler S, Tamai M (2007) Restoration of visual response in aged dystrophic RCS rats using AAV-mediated channelopsin-2 gene transfer. Invest Ophthalmol Vis Sci 48:3821-3826.

Tomita H, Sugano E, Fukazawa Y, Isago H, Sugiyama Y, Hiroi T, Ishizuka T, Mushiake H, Kato M, Hirabayashi M, Shigemoto R, Yawo H, Tamai M (2009) Visual properties of transgenic rats harboring the channelrhodopsin-2 gene regulated by the thy-1.2 promoter. PLoS One 4:e7679.

熊野弘紀、宇賀貴紀： 大脳皮質MT 野の先端研究. 日本神経回路学会誌 17, 2010.

Kumano H, Uka T: The spatial profile of macaque MT neurons is consistent with Gaussian sampling of
logarithmically coordinated visual representation. J Neurophysiol. 104: 61-75, 2010.

Sasaki R, Uka T: Dynamic readout of behaviorally relevant signals from area MT during task switching. Neuron 62: 147-157, 2009.

Negishi I, Kaneko H. Mizushina H, Ogata K: Effects of tilt of the visual stimuli on the perception of gravitational vertical under normal- and hyper-gravity condisions, Optical Review, 16(3) 290-5, (2009).

Takahashi, K., & Watanabe, K. (2010) Implicit auditory modulation on the temporal characteristics of perceptual alternation in visual competition. Journal of Vision, 10 (4), 11, 1-13.

Watanabe, K., & Shimojo, S. (2005) Crossmodal attention in event perception. Neurobiology of Attention,

Watanabe, K., & Shimojo, S. (2001) When sound affects vision: effects of auditory grouping on visual motion perception. Psychological Science, 12(2), 109-116.

Watanabe, K., & Shimojo, S. (2001) Postcoincidence trajectory duration affects motion event perception. Perception & Psychophysics, 63(1), 16-28.

Shimojo, S., Scheier, C., Nijhawan, R., Shams, L. Kamitani, Y., & Watanabe, K. (2001) Beyond perceptual modality: Auditory effects on visual perception. Acoustical Science and Technology, 22(2), 1-67.

Sato, N., Sakata, H., Tanaka, Y. L., Taira, M. (2010). Context-dependent place-selective responses of the neurons in
the medial parietal region of macaque monkeys. Cerebral Cortex, 20, 846-858.

Sato, N., Sakata, H., Tanaka, Y. L., Taira, M. (2006). Navigation-associated medial parietal neurons in monkeys.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103, 17001-17006.

Sato, N., Sakata, H., Tanaka, Y., and Taira, M. (2004). Navigation in virtual environment by the macaque monkey. Behavioural Brain Research, 153, 287-291.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	(2)	3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０７

ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究

［1］組織

代表者：荻野　俊郎
（横浜国立大学大学院）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
宇理須恒雄（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
田畑　　仁（東京大学大学院工学系研究科）
辻本　豪三（京都大学大学院薬学研究科）
岩田　博夫（京都大学再生医学研究所）
林　　智広（東京工業大学・総合理工学研究科）
谷井　孝至（早稲田大学・理工学部）
星野　忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
溝口　　明（三重大学医学系研究科）
篠原　康雄（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
宮崎　　均（筑波大学大学院生命環境科学研究科）
礒田　博子（筑波大学大学院生命環境科学研究科）
手老　龍吾（分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域）
玉田　　薫（東北大学電気通信研究所）
吉信　達夫（東北大学大学院工学研究科）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）
平野　愛弓（東北大学大学院医工学研究科）
宮本浩一郎（東北大学大学院工学研究科）

研究費：物件費5万円，旅費42万5千円

［2］研究経過

バイオエレクトロニクスは21世紀の重要な科学技術分野の一つであるが，その技術革新のためには，20世紀に高度に発達した半導体集積回路技術やナノ加工技術と，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．この融合が実現すれば，生体情報を物理信号に変換し，また，逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェイスシステムが構築でき，DNAチップやプロテインチップの高度化，さらに創薬分野において需要が高い膜タンパク質チップへの展開など，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献できる．しかしながら，半導体デバイスとバイオ物質との接合部の設計については解決すべき課題も多く、その展開の障害となっている．そこで本研究では，半導体工学や表面科学の研究者と，生命科学，バイオテクノロジー分野の研究者が協力して，ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的とした．

ナノ・バイオデバイス構築のためには，新規な製造プロセスの開発や，製造プロセスの反応制御，構築したナノ構造体の物性評価に加えて，ナノ構造をベースとした新しいバイオデバイスの分子設計が必要不可欠である．具体的には，タンパク質，ペプチド，DNAなどの生体分子をその本来の機能を失うことなく半導体材料やナノ構造体表面に固定化し，さらに生体物質と無機材料とのインターフェイス技術を確立することが研究課題となる．そこで，薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた材料・電子工学の研究分野ばかりでなく，生体物質を自在に操作する技術を有する生化学・分子生物学分野の研究者の英知も結集して，新しいバイオ・半導体融合ナノ構造の構築法とその機能評価，また高感度生体計測技術について，討論することを目的としている．本年度は第２年度であり，前年度の成果をさらに発展させるため，ナノデバイスとバイオ素子，特に，人工細胞膜との融合に関する研究や，細胞界面に関する研究，また，脳を含む実際の生体機能観測の現場において，新たな測定手法への需要や，計測現場における様々な課題について知見を深めるため，下記の通り研究会を開催した．以下に，研究会のプログラムを付記する．

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成23年1月25日（火）13:30〜17:30
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム
テーマ：「人工細胞膜の創製と構造・機能解析」

「周波数変調原子間力顕微鏡による生体分子イメージングおよび局所水和構造可視化」
山田　啓文　（京都大学工学部）
「固体表面に支持された脂質二重膜の相分離制御」
荻野　俊郎，　磯野　俊成　（横浜国立大学大学院）
「固体基板表面におけるパターン化人工生体膜の構築」　森垣　憲一　（神戸大学自然科学系先端融合研究環遺伝子実験センター）
「半導体加工に基づくイオンチャネルチップの開発」　平野　愛弓　（東北大学大学院医工学研究科）
「K チャネルゲートの AFM による操作」
井出　　徹　（理化学研究所・大阪大学大学院）
「脂質二分子膜とチャンネルを用いる物質検知法」
菅原 正雄　（日本大学文理学部化学科）

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成 23 年 2 月 3 日（木）13:30〜17:10
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設
　　４階カンファレンスルーム
「走査型トンネル顕微鏡発光によるバイオ･マテリアルの物性研究」
上原　洋一　（東北大学電気通信研究所）
「ミトコンドリア内膜の状態変化とシトクロムｃの漏出」
篠原　康男　（徳島大学疾患ゲノム研究センター）
「細胞間ネットワーク構築の時空間的制御が可能なプラットフォームの開発」
坪川　浩･岡野和宣　（東北福祉大学感性福祉研究所）
「神経回路における薬物作用と発振現象のシミュレーションに関する研究」
桜井　伊知郎　（東北大学大学院工学研究科）
「身体が表現する行動要素の組み合わせコードとしての脳」　　中村　俊（東京農工大学工学研究院）

情報バイオトロニクス研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成 23 年 2 月 21 日（月）14:00〜18:10
場所：　東北大学電気通信研究所
　　ナノ・スピン実験施設　４階A401 号室

「ナノシリコンと有機色素とのコンポジットにおけるエネルギー伝達」
越田　信義　（東京農工大学）
「有機 TFT の高性能化とフレキシブルデバイスへの応用展開」　　時任　静士（山形大学）
「ポーラスTi を用いたDSC 用対極」
木村 康男　（東北大学電気通信研究所）
「酸化チタンナノチューブの創製と色素増感型太陽電池への応用」　　関野　徹（東北大学）
「Polymer solar cells for future ubiquitous power supply」　林　靖彦（名古屋工業大学）
「色素増感太陽電池の発電界面構造と劣化機構の評価」　　廣瀬 文彦（山形大学）

［３］ 成果

（３－１）研究成果

本プロジェクト研究では，半導体や生体高分子，特に膜タンパク質や人工細胞膜のナノ構造をベースとした新しいバイオ電子デバイスを実現するための基盤技術の開発を目標にしている．この技術が開発されれば，生体物質の微視的相互作用（生体反応）の高精度分析や，血液中，体液中，あるいは脳組織中の成分の"その場"分析などへの応用が可能である．また，この機能は，DNA チップやプロテインチップ，イオンチャネルチップ，膜タンパク質チップ，細胞チップ，神経細胞チップの高度化など，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する．本研究会において，このテーマに対するさまざまな観点から研究の成果が報告され，特に生体分子によるナノ構造構築法，新規な生体計測デバイス，またバイオチップの現状についての興味深い発表と講演があった．

（３－２）波及効果と発展性など

本研究会は，ナノ構造デバイスの構築を目標に，固体表面をベースとした新しいナノ構造製造プロセスの開発や，ナノ構造体の物性評価などについて，今後の戦略目標について討論することを目的とした．現在，この技術の開発には，細胞膜構造の自発的形成に見られるように，自己組織化機能などの化学反応制御法が極めて有効である．生物の細胞はまさに自然の自己組織化機能を利用してさまざまな機能を実現している．自己組織化を利用した高分子のナノ構造の構築や，それを新しいバイオエレクトロニクスに活用することは，今大きな発展を向かえる時期にあり，この分野の今後の研究の進展が大いに期待される．

［４］ 成果資料

（１）　Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yuki Aonuma, Yuya Yoshimura, Yasuo Shinohara, Yasuo Kimura and Michio Niwano, “Real-time monitoring of mitochondrial adenosine 5’-triphosphate synthesis and hydrolysis by surface infrared spectroscopy”, Appl. Phys. Lett., 98, 133703 (2011).

（2） Ayumi Hirano-Iwata, Tasuku Taira, Azusa Oshima, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films”, Appl. Phys. Lett., 96, 213706 (2010).

（3） Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Tomohiro Nasu, Tasuku Taira, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication”, Supramolecular Chemistry, 22, 405-411 (2010).

（4）Ayumi Hirano-Iwata, Kouji Aoto, Azusa Oshima, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Free-Standing Lipid Bilayers in Silicon Chips — Membrane Stabilization Based on Microfabricated Apertures with a Nanometer-Scale Smoothness”, Langmuir, 26, 1949–1952 (2010).

（5）Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Kota Onodera, Kouji Aoto, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Self-formation of bilayer lipid membranes on agarose-coated silicon surfaces studied by simultaneous electrophysiological and surface infrared spectroscopic measurements“, Appl. Phys. Lett., 94, 243906-1-3 (2009).

（6） Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Ko-ichiro Miyamoto, Hiroko Isoda and Hitoshi Miyazaki, “*In situ* real-time monitoring of apoptosis on leukemia cells by surface infrared spectroscopy”, J. Appl. Phys., 105, 024701-1-7 (2009).

共同プロジェクト研究

採択回数 | 1 | ② | 3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０８

生物の適応的運動機序の解明と工学的応用

［1］組織

代表者：細田　耕
（大阪大学大学院情報科学研究科）

対応者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）

分担者：

浅間　　一
（東京大学大学院工学研究科）

伊藤　宏司
（東京工業大学総合理工学研究科）

土屋　和雄
（同志社大学工学研究科）

神崎　亮平
（東京大学 大学院情報理工学系）

高草木　薫
（旭川医科大学）

荻原　直道
（慶応義塾大学）

近藤　敏之
（東京農業工業大学工学研究科）

大須賀公一
（大阪大学大学院工学研究科）

川端　邦明
（理化学研究所分散適応ロボティクス研究ユニット）

太田　順
（東京大学人工物研究センター）

青沼　仁志
（北海道大学電子科学研究所）

木村　　浩
（京都工芸繊維大学）

井上　康介
（茨城大学工学部）

倉林　大輔
（東京工業大学理工学研究科）

辻田　勝吉
（大阪工業大学工学研究科）

田熊　隆史
（大阪工業大学工学研究科）

稲瀬　正彦
（近畿大学医学部）

北澤　茂
（順天堂大学医学部）

柳原　大
（東京大学大学院総合分化研究科）

中溝　克己
（近畿大学医学部）

森　大志
（山口大学農学部獣医）

大武　美保子
（東京大学人工物研究センター）

青井　伸也
（京都大学大学院工学研究科）

舩戸 徹郎
（京都大学大学院工学研究科）

松山　清治
（札幌医科大学）

花川　隆
（国立精神神経センター）

佐々木　司
（東京大学大学院教育学研究科）

出江　紳一
（東北大学大学院医工学研究科）

清水　正宏
（大阪大学大学院工学研究科）

冨田　望
（同志社大学工学研究科）

林　叔克
（東京農工大学共生科学技術研究院）

佐藤　直行
（公立はこだて未来大学）

杉本　靖博
（大阪大学大学院工学研究科）

田村　雄介
（東京大学大学院工学研究科）

小川　広晃
（東京大学大学院工学研究科）

矢野史朗
（東京大学大学院工学研究科）

成（ソン）アンナ
（東京大学大学院工学研究科）

研究費：物件費５万円，旅費６９万３千円

［２］研究経過

（本プロジェクトの目的・概要，及び，研究会，研究打ち合わせ・研究討論会，研究発表会，研究集会等の開催状況を記載して下さい。）

生物の驚くほど適応的な振る舞いは，その身体と環境との相互作用から生み出されている．環境を一方的にモデル化し，そのモデルの逆モデルに基づいて環境を制御，もって適応的な行動を生み出そうという従来の工学的手法にはその限界があり，環境とその生物の身体，そして脳機能の相互作用を利用することによって，より環境調和的なシステムの構築が可能となる．本プロジェクトでは，生物，医学，工学，情報科学などさまざまな分野の研究者による自由な議論とこれに基づく新たな生工連携の枠組みを利用し，このような相互作用を利用した，適応的なシステムに関する研究を推進する．

生物の適応機序は，(1)環境変化に対して生存を可能にする身体恒常性維持のメカニズム，（2）環境適応性を向上するための環境認知のみなしメカニズム，そして（3）それが属する社会やコミュニティの中の相互作用を利用し，より環境適合性を向上する社会的メカニズム，に大きく分類されると考えられる．これまでの研究で，身体恒常性維持に脳や神経伝達回路，あるいは，神経伝達物質などが野用に関わっているか，環境適応性を向上させるために，生体がどのように情報を圧縮し，無限定な環境をどのように「みなして」振る舞いを生成するか，あるいは社会的な昆虫や動物が，いかにして自らの社会性を生み出し，それを利用することによって適応性を生み出しているか，に関する知見が得られている．しかしながら，その機序は，生体としての文脈内で解釈されるべきものであり，生体や社会は非常に複雑なシステムであるがゆえに，切り出して考察することは難しい．

本プロジェクトでは，生物のこのような適応性を参考にしながら，これをロボットやシミュレーションなどの構成的な手法で再現し，その基礎的な構造を理解することによって，人工的な情報システムの適応性に関する新たな知見を探ることが目的である．

本プロジェクトは，本年度が第２年度であり，前年度の成果を踏まえて，医学系，特にリハビリ関係の研究者との研究会を行った．

研究会は２０１１年3月８日１３時～１６時に，東北大学ナノスピン総合研究棟４０１室にて行われた．まず，東京大学大学院教育学研究科健康教育学分野の佐々木司教授による「人工物の急速な発達・普及による生活変化が健康、特に精神的健康に及ぼす影響について」という講演が行われた．以下にその概要を示す．

> 近年、PC、ネット、携帯などの通信手段や業務機器、航空機などの高速大量移動手段の発達によって、子供から大人まで、人間の生活が急速に、かつしばしば適応限界を超えて変化してきている。これについて精神科の臨床経験および調査データなどからお話するとともに、人工物をはじめとする生活環境に関するどのような工夫が、人間としてより適応可能な生活に役立つのかを検討する有用な研究手法の１つとしての双生児研究についてもお話したい。

さらに，東北大学大学院医工学研究科リハビリテーション医工学分野の出江紳一教授による「脳の可塑的変化を誘導し治療につなげる技術」という講演が行われた．以下にその概要を示す．

> 学習された不使用(learned non-use)や幻肢痛は大脳皮質の maladaptation を考えられ、それをターゲットとする感覚・運動療法が開発されてきた。経頭蓋磁気刺激、ミラー療法など、脳に可塑的変化を誘導する治療法の概要を紹介し、ミラーニューロンシステムを想定した新たな感覚・運動療法の概念として、模倣運動療法を提案したい。

これら二つの講演の後，活発な討論が行われた．

［３］成果

（３－１）研究成果

本プロジェクトでは，ヒトを取り巻く環境の変化によって，その精神的な活動にどのような変化が起こっているかについての臨床的な知見を，また幻肢などのリハビリテーションのために脳の可塑性を利用する方法についての知見を得た．このような知見は，人間がその環境や身体に関してどのような認知を行っているか，またそれが損なわれた時にはどのように回復するかを臨床的にあらわしている．今後，ヒトを含めた生物の適応機序を解明することに大きく役立つと考えられる．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトを通して学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，得られた結果は，この研究グループによる新学術領域への提案に利用される予定である．また，それ以外にも多くの科研の科目に対して，本研究グループ内での共同研究が提案されている．

また，２０１１年１０月には，本プロジェクトの研究者を中心として，Internationl symposium on Adaptive Movement of Animals and Machines

2011 が兵庫県・淡路で開催される予定である.

［4］成果資料

1) Rodrigo da Silva Guerra, Hitoshi Aonuma, Koh Hosoda, Minoru Asada, ″Semi-Automatic Behavior Analysis Using Robot/Insect Mixed Society and Video Tracking″, Journal of Neuroscience Methods, 191, 1, pp.138-144, Aug. 2010.
2) Rodrigo da Silva Guerra, Hitoshi Aonuma, Koh Hosoda, and Minoru Asada, ″Behavior Change of Crickets in a Robot-Mixed Society″, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.4, pp.526-531, Aug. 2010.
3) Koh Hosoda, Yuki Sakaguchi, Hitoshi Takayama, and Takashi Takuma, ″Pneumatic-driven jumping robot with anthropomorphic muscular skeleton structure″, Autonomous Robots, Vol.28, Issue 3, pp.307-316, April, 2010.
4) Manabu Gouko, Koji Ito, An Action Generation Model by Using Time Series Prediction and Its Application to Robot Navigation, International Journal of Neural Systems, Vol.19, No.2, pp.105-113, 2009
5) Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, “Construction of Reversible Lattice Molecular Automata”, International Journal of Modern Physics C, Vol.20, No.6, pp.901-929, 2009.
6) Matsuyama K., Takakusaki K, “Organizing Principles of Projections of the Long Descending Reticulospinal Pathways and Their Targets’ Spinal Commissural Neurons: With Special Reference to the Locomotor Function”, Handbook on White Matter: Structure, Function and Changes (Editors: Westland T.B., Calton R.N.), pp.335-356, 2009.
7) Tsuchiya Y., et al., “A Jak2 inhibitor, AG490, reverses lipin-1 suppression by TNF-alpha in 3T3-L1 adipocytes”, Biochem. Biophys. Res. Comm., Vol.360, pp.614-619, 2009.
8) Takakusaki K., Okumura T., Koyama Y., “Subcortical mechanisms of controlling muscle tone and locomotion with respect to the pathogenesis Cataplexy in Narcolepsy”, Narcolepsy; Symptoms, Causes and Diagnosis and Treatment., Nova Science Publishing Co. New York, USA, in press.
9) Takakusaki K, Iwamuro H, “Firing properties of the pedunculopontine tegmental nucleus neurons with respect to the basal ganglia modulation”, Neuroscience Research, Vol.65, S71, 2009.
10) Yasuhiro Sugimoto, Shinya Aoi, Naomichi Ogihara, Kazuo Tsuchiya, “The Stabilizing function of musculoskeletal system for periodic motion”, Advanced Robotics, Vol.23, No.5, pp.521-534, 2009.
11) Kazuhiko Nakatani, Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, “Demonstration and Analysis of Quadrupedal Passive Dynamic Walking”, Advanced Robotics, Vol.23, No.5, pp.483-501, 2009.
12) T. Hosoido, F. Mori, et al, “Characteristics of H- and M-waves recorded from rat forelimbs”, Neuroscience Letters, Vol.450, pp.239-241, 2009.
13) Y. Wada, F. Mori, et al, “Distribution of dendrites from lomgissimus lumborum motoneurons stained intracellularly with biocytin in the adult cat”, Acta Veterinaria Scandinavica.
14) Hiroaki Ishida, Katsumi Nakajima, Masahiko Inase and Akira Murata, “Shared Mapping of Own and Others’ Bodies in Visuo-Tactile Bimodal Area of the Monkey Parietal Cortex”, Journal of Cognitive Neuroscience, 2009.
15) Ogihara, N., et al., “Development of an Anatomically Based Whole-Body Musculoskeletal Model of the Japanese Macaque (Macaca fuscata)”, American Journal of Physical Anthropology, Vol.139, pp.323-338, 2009.

共同プロジェクト研究

採択回数　1　②　3

採択番号　Ｈ２１／Ｂ０９

不揮発性ビット演算
大規模コンピューティングの創造開拓

［1］組織

代表者：松岡　浩
（理化学研究所計算科学研究機構）

対応者：羽生　貴弘
（東北大学電気通信研究所）

分担者：　以下、50 音順

青井　基（東北大学電気通信研究所）
青柳　哲雄（日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター）
板倉　憲一（海洋研究開発機構
地球シミュレータセンター）
井戸村　泰宏（日本原子力研究開発機構
核融合研究開発部門）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
折田　義彦（日本海洋科学振興財団）
樫本　浩二（日本電気株式会社）
角田　晋也（海洋研究開発機構
海洋工学センター）
佐久間　弘文（海洋研究開発機構
地球環境フロンティア研究センター）
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
高木　敏行（東北大学流体科学研究所）
高瀬　和之（日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学部門）
谷　啓二（日本アドバンステクノロジー
株式会社）
寺坂　晴夫（会津大学
先端情報科学研究センター）
徳田　伸二（高度情報科学技術研究機構）
早瀬　敏幸（東北大学流体科学研究所）
福井　義成（海洋研究開発機構
地球シミュレータセンター）
福田　正大（計算科学振興財団）
藤代　一成（慶應義塾大学理工学部
情報工学科）
藤縄　幸雄（藤縄地震研究所）
峯尾　真一（理化学研究所次世代スーパー
コンピュータ開発実施本部）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
村松　壽晴（日本原子力研究開発機構
関西光科学研究所レーザー技術
利用推進室）
矢野　雅文（東北大学電気通信研究所）
横川　三津夫（理化学研究所次世代スーパ
ーコンピュータ開発実施本部）
渡邉　國彦（海洋研究開発機構地球シミュ
レータセンター）
渡辺　正（日本原子力研究開発機構
安全研究センター）

研究費：物件費　0 円、旅費　38 万 6 千円

［2］研究経過

超高速コンピューティングによる数値シミュレーションは、原子力、航空・宇宙、地球環境、医療など未来社会を構築するキーテクノロジーであり、その“超高速”に対するニーズはとどまるところを知らない。今後、“さらなる超高速”を技術的に実現し、社会に広く普及させるためには、“超低消費電力でコンパクトな設計”を極限まで推し進める必要がある。これには、リーク電流の低減など従来の延長線上の対応のみでは不十分である。むしろ、低消費電力を達成する強力な方法（①不揮発性デバイス、②演算・記憶・制御機能の一体化や動的再構成可能化、③ロジックインメモリ構造、④非同期転送によるグローバルクロック削除など）をデバイス・回路レベルで採用し、これらのシンプルな組み合わせで実現できる“基本プロセッサ回路”をベースに、そこから各種アプリケーションへ展開していく道を探るべきであろう。

本研究会は、この具体的１方策として「不揮発性ビット演算大規模コンピューティング技術」の可能性を追求する。多くのアプリケーションは、相当の工夫をすれば、ビット演算（and, or, not, shift 等）のみで数値シミュレーションにおける繰り返し計算部分を構成できる。ビット演算を用いると、ソフトウェア的には、実数演算において生じる打ち切り誤差の蓄積がなく、数値計算的にも安定である。また、if 文等の分岐処理を皆無にすることができるので、ハードウェア的には、パイプライン処理に手戻りが

なく、先読みが完全に成功する。さらに、一連のデータ処理を１ビット幅で実行できるため、通常のパソコン１CPU でも数 10 並列計算、ベクトル処理プロセッサでは典型例として 16384 並列の SIMD 計算を１CPU で実現できる。そのうえ、この基本プロセッサ回路には、多数のトランジスタを使用する浮動小数点演算回路が不要であるため、低消費電力化と回路面積のコンパクト化に有利である。そして何よりも、回路がシンプルな論理演算回路の繰り返しとなるため、電気通信研究所が現在開発中の“不揮発性スピン演算回路”の応用事例として、この種の“数値シミュレーション専用プロセッサ”を最初に想定することは非常に魅力的なものと考えられる。

以上の基本認識に立ち、本研究会では、デバイス・回路レベルから各分野のアプリケーションに至るまでの多階層にわたる専門家が十分な意見交換を行う。そして、「不揮発性ビット演算コンピューティング」という手段によって、多数の分野において“超低消費電力でコンパクトな超高速コンピューティング”が実現されることを目指し、将来に向けた課題を抽出・検討しながら、その可能性を創造開拓していくということを目的に活動を行ってきた。

本プロジェクトは、本年度が 2 年度目であった。前年度は、本プロジェクトの立ち上げを行い、不揮発性ビット演算大規模コンピューティングのユニークな可能性について検討し、メンバー間で共通認識を得た。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、スーパーコンピュータを利用して実際に大規模ビット演算コンピューティングを行い、その有用性を実証するための研究活動を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本研究会は、多分野にわたる多数のメンバーから構成されているので、集中的な意見交換を行うため、平成 22 年度当初計画の予定回数を超えて、小グループ会合を 5 回(東京、神戸等)、大グループ会合を 2 回(仙台)開催した。

大グループ会合は、専門分野の異なるメンバーの相互コミュニケーションや異分野融合研究の促進を目的にして平成22年12月2日及び3日に開催した。そこでは、デバイス・回路技術の研究者、超高速コンピューティングの普及推進者、超高速コンピューティングを各分野で応用していきたいニーズをもつ関係者等の間で、異分野横断的な意見交換を行った。

○第１会合：12 月 2 日　13 時 40 分～17 時 30 分
（東北大学電気通信研究所 2 号館 401 会議室）

冒頭、松岡から研究会の趣旨説明を行った。続いて、不揮発性演算回路研究開発の現状について、電気通信研究所の羽生貴弘教授からプレゼンがなされ、質疑応答がなされた。次に、スパコン流体アプリケーション分野ということで、振動二相流のシミュレーションに関して日本原子力研究開発機構の渡辺正氏から、レーザー溶接・切断プロセスに係わる計算科学研究に関して日本原子力研究開発機構の村松壽晴氏から、説明をして頂き、質疑応答及び関連する意見交換を行った。

その後、青葉山の東北大学サイバーサイエンスセンターに移動し、稼働中のスーパーコンピュータ SX-9 及び展示室の展示物(パラメトロン計算機 SENAC-1、各種 SX ベクトル計算機、地球シミュレータ等)について、江川隆輔准教授ほか担当の方々からご説明頂くなど、15 時 50 分から 16 時 40 分まで施設見学を行った。その後、片平の東北大学電気通信研究所に戻り、IT-21 センターの磁気ディスク用材料研究開発設備について、島津武仁准教授からご説明頂き、関連する質疑応答を行った。

○第２会合：12 月 3 日　9 時 20 分～12 時
（東北大学電気通信研究所 2 号館 401 会議室）

注目される新回路技術に関して、電気通信研究所の羽生貴弘教授からプレゼンがなされ、意見交換を行った。続いて、松岡より、「SX-9 を利用した格子ガス法による大規模計算機空気冷却風速場の試計算」及び「ES を利用した格子ガス法による円柱後流過渡変化流速場の試計算」について説明した。また、「急拡大する巨大情報量を支える情報ストレージの高密度大容量化」について、村岡裕明教授からプレゼンがなされ、意見交換を行った。さらに、海洋研究開発機構の福井義成氏、計算科学振興財団の福田正大氏、日本アドバンステクノロジー株式会社の谷啓二氏、理化学研究所の峯尾真一氏から、HPC 用計算機の将来展望、実現すべき技術開発、それに向けて我々にできること、開発チームの体制のあり方などに関するプレゼンがそれぞれ行われ、活発な意見交換を行った。また、日本海洋科学振興財団の折田義彦氏から、海洋研究開発分野における分野横断的な研究の事例について紹介がなされた。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は、2 年度目であり、昨年度の研究会活動がきっかけになって応募したプロジェクトが採択され、無事、期待していた成果が得られた。本年度に得た研究成果は、一言でいえば、**“新粘性制御法による超並列ビット演算流体シミュレーション手法”のひとつを実際に大規模スーパーコンピュータで実証できたこと**である。

プログラム開発には、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ SX-9 を主に利用した。具体的には、同サイバーサイエンスセンターが実施している研究開発公募に対して、「超SIMD演算による低消費電力流体シミュレーションコードの開発」という開発課題を設定して平成 22 年 2 月 19 日づけで新規に申請書を提出し、同年 3 月 10 日づけで同課題が採用された。

また、平成 22 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点公募型共同研究の公募に対して、「計測融合オペレーション実現のための大規模計算機空気冷却風速場の高解像度過渡変化解析」という研究課題を設定し、共同プロジェクト研究会の関係メンバーと協力して平成 22 年 4 月 30 日づけで新規に課題申込書を提出し、同年 5 月 24 日づけで同課題が採択された。これにより、東北大学サイバーサイエンスセンターの SX-9 に加えて、大阪大学サイバーメディアセンターの SX-9 等も利用することが可能になった。本研究課題は、格子ガス法 3 次元流体シミュレーションコードを計算機室における冷却空気の流れに適用するものであるが、コードの中核部分の開発は、サイバーサイエンスセンターの研究開発公募に採択された課題と共通する部分が多い。

以上の研究開発を通じて、SX-9 プロセッサによる 1 回のベクトル命令発行で 16384 個の 4 次元格子点に係る計算を 1 CPU で並列的に実行可能な格子ガス法流体シミュレーションコードの実用規模問題への適用性を確認できた。また、格子ガス法による新しい粘性制御法である“多段 2 体衝突法”の効果を定性的に分析できた。この際の計算は、SX-9 の 2 ノード(32CPU)で 1 ジョブ当たり約 124 時間を要したが、計算コードの性能としては、255.8 以上のベクトル長と 99.96%以上のベクトル化率を実現できた。以上の成果は、東北大学サイバーサイエンスセンターのご支援の賜であり、スタッフの方々に深く感謝いたします。

以上の成果を、実用的な流体解析問題にまで応用していくためには、さらに大規模なベクトル計算機を利用する必要がある。このため、独立行政法人海洋研究開発機構が実施している平成 22 年度地球シミュレータ一般公募プロジェクト(先進創出分野)に対して、「新粘性制御法による超並列ビット演算流体シミュレーション手法の開発」という研究課題を設定し、共同プロジェクト研究会の関係メンバーと協力して平成 22 年 2 月 22 日づけで新規に申請書を提出し、同年 3 月 17 日づけで同課題が採択された。これにより、平成 22 年度に地球シミュレータを 2600 ノード時間積まで無料で利用することが可能になった。今回、流体粘性を小さく制御する新しい方法のひとつとして「多段 2 体衝突法」をコードに組み込み、72 ノード(576CPU)で約 92.8%の並列化効率を達成し、格子ガス法計算モデルが超並列計算に向いていることを実証できた。この点、地球シミュレータセンターのご支援に深く感謝いたします。

（3－2）波及効果と発展性など

「新粘性制御法による超並列ビット演算流体シミュレーション手法の開発」については、平成 23 年度に、有限長円柱の後流に発生する 3 次元うずの数値シミュレーションを行い、既に先行研究で得られている実験結果やナビエ・ストークス解法によるシミュレーション結果等と比較することにより、実用的な大規模問題への適用可能性を詳細に評価していく計画である。

特に、これまで自主開発してきた超並列ビット演算による格子ガス法流体シミュレーションコードに対して、仮想粒子の衝突規則を変化させることによって格子点数を増やさずに流体粘性を変化させる新しい粘性制御法を組み込み、粘性が非常に小さい場合の高レイノルズ数大規模問題をどこまでシミュレーション可能かその限界を追求することとしている。

本研究が計画どおり進展し、超並列ビット演算による 3 次元格子ガス法流体シミュレーションコードによって、実用的な大規模問題に手が届く高レイノルズ(Re)数領域のシミュレーションが可能であることを実証できれば、本手法に関心をもつ研究者が現れ、それぞれの大規模流体問題に本手法を適用していくであろう。その適用を通じて、これまでの流体解析の主流であるナビエ・ストークス解法と比較して本手法がもつ特徴的な利点についての理解が進み、また、そのハードウェア実現の多様性のゆえにスパコン以外のユビキタス利用にも応用が開けると考えられる。さらに、格子ガス法は、仮想粒子のもつ物理量の解釈を変えることにより、電磁場、音場、応力場などの解析に適用できるため、今後、流体分野に限らず幅広い分野の応用に発展していくことが期待できる。

［4］成果資料

（1）「新粘性制御法による超並列ビット演算流体シミュレーション手法の開発」平成 22 年度地球シミュレータ利用報告会、松岡、渡辺、横川、峯尾、板倉、岩谷、菊池、藤縄、折田、2011 年 2 月 4 日

（2）「計測融合オペレーション実現のための大規模計算機空気冷却風速場の高解像度過渡変化解析」、JHPCN 第 2 回シンポジウム講演予稿 2011 年 1 月、松岡、横川、峯尾、瀧塚、伊賀崎、渡辺、板倉、菊池、福田、小林、江川、竹村、菊池、東田、青柳、2011 年 1 月 13 日

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

課題番号　Ｈ２１／Ｂ１０

次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究

［1］組織

代表者：越前　功
（国立情報学研究所コンテンツ科学研究系）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
青木　直史（北海道大学大学院情報科学研究科）
伊藤　彰則（東北大学大学院工学研究科）
河口　英二（九州工業大学名誉教授）
川村　正樹（山口大学大学院 理工学研究科）
貴家　仁志（首都大学東京システムデザイン学部）
近藤　和弘（山形大学大学院理工学研究科）
薗田　光太郎（情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター）
田中　　清（信州大学工学部）
新見　道治（九州工業大学情報工学部）
西村　　明（東京情報大学総合情報学部）
西村　竜一（情報通信研究機構）
野崎　剛一（長崎大学情報メディア基盤センター）
野田　秀樹（九州工業大学情報工学部）
馬場口　登（大阪大学大学院工学研究科）
日置　尋久（京都大学大学院人間・環境学研究科）
宮崎　明雄（九州産業大学情報科学部）
吉田　真紀（大阪大学大学院情報科学研究科）
脇山　正博（北九州工業高等専門学校制御情報工学科）
研究費：物件費５万円，旅費６７万９千円

［2］研究経過

デジタルコンテンツは編集・コピーが容易，インターネットでの不正配布が容易であるため，その著作権保護，情報漏えい対策，機密性の確保が重要な課題となっている．これら課題への従来対策としてコンテンツの暗号化があるが，正規ユーザによりコンテンツの暗号化が一旦解除されてしまうと，以降の流通に対して，暗号は効力を持たないという問題があった．そのような中，暗号とは異なる情報保護技術として情報秘匿（ハイディング）が注目を集めている．情報ハイディングは暗号と併用可能な技術であり，ディジタル情報の著作権保護や安全確保のための中核技術として期待されている．本共同研究プロジェクトでは，情報ハイディングに関連のあるマルチメディア信号処理，情報セキュリティの研究者が一同に会して，デジタルコンテンツの著作権保護，情報漏えい対策，機密性確保を実現する次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究発表や討論を行った．本プロジェクトが検討した流通モデルを科研費特定領域研究などの新たなプロジェクトや IFIP（International Federation for Information Processing）などの国際標準化組織へ提案することにより，研究組織の更なる発展を目指すとともに，デジタルコンテンツ流通の高次利用に関する国際的な情報発信源の役割を果たすことが期待できる．本プロジェクトは，本年度が2年目である．本年度は，本プロジェクトの研究メンバーが参加する情報ハイディングの関連研究会（電子情報通信学会『マルチメディア情報ハイディング（MIH）研究会』）にて以下の研究会を開催した．

<<第10回研究会>>

日時：2010年6月9日（水），場所：北海道大学 百年記念館

［一般講演 セッション1（音響メディア）］

*MIDI 符号化ツール"オート符"を用いた電子透かし埋め込み信号の品質評価，茂出木　敏雄（大日本印刷株式会社）

*データハイディングによる補助情報伝送，伊藤　彰則（東北大学）

*MP3 音楽配信におけるパケットロス補償のための時間領域MD符号化の一改善法，魏　浩石，伊藤　彰則，岡本　拓磨，鈴木　陽一（東北大学）

*チャンネル間相関調整用エコーの極性を利用したステレオ音響信号用データハイディング法の特性，近藤　和弘（山形大学）

*埋め込み限界を高めるための蝸牛遅延フィルタの構成，鵜木　祐史，小杉　敏三，羽二生　篤，宮内　良太（北陸先端科学技術大学院大学）

［一般講演 セッション2（画像メディア）］

*幾何学的攻撃に耐性のある特徴点と正規化を用いた静止画像向け電子透かし,魏　娜,中野　まり子,山口　和彦（電気通信大学）
*ベンフォードの法則に基づく電子透かし解析手法のカラー画像への適用に関する検討，野田　和臣，上繁　義史，櫻井　幸一（九州大学）
*画像データのスパース表現を利用したステガナリシス，新見　道治，田畑　克宜，野田　秀樹（九州工業大学）
*色弱の見え方と可能性,栗田　正樹（有限会社ソノーク），青木　直史(北海道大学）
［一般講演 セッション 3(動画およびデータメディア)］
*半開示スクランブル動画の不正な再利用防止のための電子透かし技法,若色　宏明,姜　錫,坂本　雄児（北海道大学）
*SD 式によるステガノグラフィ技術を用いた映像データベースの枠組み，脇山　正博，太田　尚人，日高　康展,吉原　将太　（北九州工業高等専門学校），野崎　剛一（長崎大学）
*ステガノグラフィのツールを隠すステガノグラフィの枠組み，日置　尋久（京都大学）
*言葉遊びと情報ハイディング,青木　直史（北海道大学）
［総合討論: マルチメディア情報ハイディングの将来を考える ― MIH 研究会の研究会のさらなる発展に向けて ―］
司会 馬場口 登(大阪大学),モデレータ 越前 功(国立情報学研究所)
<<第 11 回研究会>>
日時 : 2010 年 10 月 8 日(金)，場所 : 長崎大学 文京キャンパス
［一般講演 セッション１ ］
*電子透かし及びその評価基準に関する一考察,岩村　惠市（東京理科大）
*スペクトル拡散型電子透かしの確率ダイナミクスの導入，寺西　直緒，川村　正樹（山口大）
*蝸牛遅延特性を利用した電子音響透かしのブラインド検出に向けた基礎検討，羽二生　篤，小杉　敏三，宮内　良太，鵜木　祐史（北陸先端大）
*蝸牛遅延フィルタの縦続・並列・混合型構成に関する検討，小杉　敏三，羽二生　篤，宮内　良太，鵜木　祐史，赤木　正人（北陸先端大）
［招待講演］
*人間とデバイスの感度の違いを利用した映像の盗撮防止技術，越前　功(国立情報学研究所・准教授)
［一般講演 セッション2］
*ディジタルコンテンツのアクセス制御のための再帰ハッシュ連鎖を用いた暗号鍵生成方式，今泉　祥子（新潟県工業技術総合研究所，首都大学東京），藤吉　正明，貴家　仁志（首都大学東京）
*複数の検査鍵を設定可能な可逆情報埋込に基づく画像改ざん検出法，渡辺　健太，藤吉　正明，貴家仁志（首都大学東京）
*JPEG 画像を対象とする現実的なステガナリシスに関する検討,山脇　和美,小波　泰之,野田　秀樹,新見　道治（九州工業大）
<<第 12 回研究会>>
日時 : 2011 年 1 月 13 日(木)，場所 : 東北大学 電気通信研究所
［一般講演 セッション１（画像処理，その他）］
*モノづくりによる価値創造の可能性，青木直史(北海道大学)
*色特徴のコード化を用いた撮影画像の色復元,木舟　秋介，栗山繁(豊橋技術科学大学)
*画像推定誤差のガウス仮定の妥当性，宮嵜翔太，川村正樹(山口大学)
*カメラ付携帯電話向け動画電子透かしにおける映像外縁への電子透かし埋め込みによる映像領域検出精度向上の検討,山本 奏，片山 淳，小池 秀樹(NTT サイバースペース研究所)
［招待講演］
*電子透かし及びその評価基準に関する一考察,岩村惠市(東京理科大学・教授)
［一般講演 セッション２（動画電子透かし）］
*半開示スクランブル動画の不正な再利用防止のための MPEG 再圧縮に耐性を持つ電子透かし技法,若色　宏明，姜　錫，坂本　雄児(北海道大学)
*動画像半開示スクランブルにおける視覚特性の補正に関するパラメータの考察 , 神 智博, 姜 錫, 坂本 雄児(北海道大学)
［一般講演 セッション 3（音響電子透かし，付加価値音響）］
*モノラル/ステレオ音信号の Ambisonics 符号化による音響データハイディング,西村竜一(情報通信研究機構)
*音響バリアフリーシステム構築に向けた電子透かし技術の応用可能性,棟方哲弥(国立特別支援教育総合研究所)，山口俊光(新潟大学)，西村竜一(情報通信研究機構)，鈴木陽一(東北大学)
*音響信号に対するスピーチプライバシー保護機能の埋め込み方法,茂出木敏雄(大日本印刷株式会社)，橋本聡，片山貴信，庄司藤男(株式会社ＤＮＰ東北)
*混合音における付加情報を用いたボーカル音声操作システムの検討，佐々木勇翔，成 聖俊，伊藤 彰則(東北大学)

*幾何学的攻撃に耐性のある特徴点と正規化を用いた静止画像向け電子透かし,魏　娜,中野　まり子,山口　和彦（電気通信大学）
*ベンフォードの法則に基づく電子透かし解析手法のカラー画像への適用に関する検討，野田　和臣，上繁　義史，櫻井　幸一（九州大学）
*画像データのスパース表現を利用したステガナリシス，新見　道治，田畑　克宜，野田　秀樹（九州工業大学）
*色弱の見え方と可能性,栗田　正樹（有限会社ソノーク），青木　直史(北海道大学）
［一般講演 セッション 3(動画およびデータメディア)］
*半開示スクランブル動画の不正な再利用防止のための電子透かし技法,若色　宏明,姜　錫,坂本　雄児（北海道大学）
*SD 式によるステガノグラフィ技術を用いた映像データベースの枠組み，脇山　正博，太田　尚人，日高　康展,吉原　将太　（北九州工業高等専門学校），野崎　剛一（長崎大学）
*ステガノグラフィのツールを隠すステガノグラフィの枠組み，日置　尋久（京都大学）
*言葉遊びと情報ハイディング,青木　直史（北海道大学）
［総合討論: マルチメディア情報ハイディングの将来を考える ― MIH 研究会の研究会のさらなる発展に向けて ―］
司会 馬場口 登(大阪大学),モデレータ 越前 功(国立情報学研究所)
<<第 11 回研究会>>
日時 : 2010 年 10 月 8 日(金)，場所 : 長崎大学 文京キャンパス
［一般講演 セッション１ ］
*電子透かし及びその評価基準に関する一考察,岩村　惠市（東京理科大）
*スペクトル拡散型電子透かしの確率ダイナミクスの導入，寺西　直緒，川村　正樹（山口大）
*蝸牛遅延特性を利用した電子音響透かしのブラインド検出に向けた基礎検討，羽二生　篤，小杉　敏三，宮内　良太，鵜木　祐史（北陸先端大）
*蝸牛遅延フィルタの縦続・並列・混合型構成に関する検討，小杉　敏三，羽二生　篤，宮内　良太，鵜木　祐史，赤木　正人（北陸先端大）
［招待講演］
*人間とデバイスの感度の違いを利用した映像の盗撮防止技術，越前　功(国立情報学研究所・准教授)
［一般講演 セッション2］
*ディジタルコンテンツのアクセス制御のための再帰ハッシュ連鎖を用いた暗号鍵生成方式，今泉　祥子（新潟県工業技術総合研究所，首都大学東京），藤吉　正明，貴家　仁志（首都大学東京）
*複数の検査鍵を設定可能な可逆情報埋込に基づく画像改ざん検出法，渡辺　健太，藤吉　正明，貴家　仁志（首都大学東京）
*JPEG 画像を対象とする現実的なステガナリシスに関する検討,山脇　和美,小波　泰之,野田　秀樹,新見　道治（九州工業大）
<<第 12 回研究会>>
日時 : 2011 年 1 月 13 日(木)，場所 : 東北大学 電気通信研究所
［一般講演 セッション１（画像処理，その他）］
*モノづくりによる価値創造の可能性，青木直史(北海道大学)
*色特徴のコード化を用いた撮影画像の色復元,木舟　秋介，栗山繁(豊橋技術科学大学)
*画像推定誤差のガウス仮定の妥当性，宮嵜翔太，川村正樹(山口大学)
*カメラ付携帯電話向け動画電子透かしにおける映像外縁への電子透かし埋め込みによる映像領域検出精度向上の検討,山本 奏，片山 淳，小池 秀樹(NTT サイバースペース研究所)
［招待講演］
*電子透かし及びその評価基準に関する一考察,岩村　惠市(東京理科大学・教授)
［一般講演 セッション２（動画電子透かし）］
*半開示スクランブル動画の不正な再利用防止のための MPEG 再圧縮に耐性を持つ電子透かし技法,若色　宏明，姜　錫，坂本　雄児(北海道大学)
*動画像半開示スクランブルにおける視覚特性の補正に関するパラメータの考察 ，神 智博，姜 錫，坂本 雄児(北海道大学)
［一般講演 セッション 3（音響電子透かし，付加価値音響）］
*モノラル/ステレオ音信号の Ambisonics 符号化による音響データハイディング,西村竜一(情報通信研究機構)
*音響バリアフリーシステム構築に向けた電子透かし技術の応用可能性,棟方哲弥(国立特別支援教育総合研究所)，山口俊光(新潟大学)，西村竜一(情報通信研究機構)，鈴木陽一(東北大学)
*音響信号に対するスピーチプライバシー保護機能の埋め込み方法,茂出木敏雄(大日本印刷株式会社)，橋本聡，片山貴信，庄司藤男(株式会社ＤＮＰ東北)
*混合音における付加情報を用いたボーカル音声操作システムの検討，佐々木勇翔，成 聖俊，伊藤 彰則(東北大学)

共同プロジェクト研究

採択番号　Ｈ２１／Ｂ１１

採択回数	1	(2)	3

新概念 VLSI システムと そのシステムインテグレーション技術

［1］組織

代表者：羽生 貴弘
（東北大学電気通信研究所）
対応者：羽生 貴弘
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
松岡 浩（独立行政法人 理化学研究所）
中島 雅美（ルネサステクノロジ（株））
望月 明（ルネサステクノロジ（株））
木村 啓明（ローム（株））
Kenneth C. Smith（カナダ・トロント大）
Vincent Gaudet（カナダ・アルバータ大）
Glenn Gulak（カナダ・トロント大）
Wai-Tung Ng（カナダ・トロント大）
夏井 雅典（東北大学電気通信研究所 助教）
松本 敦（東北大学電気通信研究所 助教）

研究費：物件費 10 万円，旅費 30 万円

［2］研究経過

本格的なユビキタスネットワーク社会の到来が叫ばれている昨今において，情報処理の分野における研究開発の重要性は以前にも増して高まっている．従来の情報処理技術においては処理速度，すなわちチップのスループットにもっともウエイトが置かれており，この点においては現在においても引き続き重要なものである．その一方で，ノート PC，携帯電話，携帯オーディオ端末等のモビリティを重視する電子機器の爆発的な普及に伴い，処理速度以外のシステム指標，すなわちチップ占有面積や消費電力を小さく，低く抑えることが，環境保護の側面とも相まって重要な課題であるといえる．これらの特性，すなわち処理速度，占有面積，消費電力に優位性を持つチップを将来に渡り継続的に作り続けていくことは，従来技術の延長，すなわちチップ設計ルールの微細化だけでは困難であるといわざるを得ない．現実に，設計ルールが 40nm 以細のルールで設計されたチップにおいては，トランジスタのスイッチング速度に起因する遅延に対して，配線の複雑さが主たる要因であるモジュール間転送にかかる遅延時間の占める相対的割合が増加してきている．

このような配線遅延にまつわる問題の根本的な解決手段としてはデザインルールのシュリンクのみに依拠した性能向上思想からの脱却，すなわちソフトウェア技術，システムアーキテクチャ技術，回路デバイス技術といった VLSI 設計技術の各レイヤー技術を多角的に進展させ，それらの技術を統合したシステムインテグレーションを推進していくことが重要であることは言うまでもない．

初年度となる本プロジェクトにおいては，具体的に以下に挙げる研究活動を通じて，次世代 VLSI コンピューティングの実現を目指すためのシステムインテグレーション技術の推進に努めた：

- 平成 22 年 7 月 5 日～7 月 9 日　Wai-Tung Ng 氏（カナダ・トロント大学）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，不揮発性素子を用いた回路や，DC-DC 変換に関する研究打合せを行った．また，この技術を不揮発性回路へ組み込んだ回路構成に関して，今後も研究討論を続けることを確認した．具体的には，H24 年 2 月から約 1 ヶ月間，当研究所へ招へいし，不揮発性ロジックに適する DC-DC 変換器の構成法について集中的に研究打合せすることとした．
- 平成 22 年 8 月 2 日　松岡浩氏（理化学研究所）と材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，研究発表会を開催した．特に，不揮発性ロジック回路の応用分野の広がり・可能性について有意義な意見交換を行った．
- 平成 22 年 12 月 4 日～8 日　Zeljko Zilic 氏（カナダ・マッギール大学・教授）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，不揮発 FPGA に関する研究討論を行い，MTJ 素子を用いた不揮発 FPGA 設計方法について，より詳細に議論していくこととした．
- 平成 23 年 3 月 20 日～21 日　Vincent C. Gaudet 氏（カナダ・ウォータールー大学・准教授）と，

新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，確率的状態遷移に基づく非同期データ転送方式を引き続き推進することと共に，不揮発性回路技術の応用分野の可能性について意見交換を行った．

- 平成23年3月22日～23日　Warren J. Gross氏（カナダ・マッギール大学・准教授）と，新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，確率的状態遷移に基づく非同期データ転送方式とその応用に関する研究討論を行った．
- 平成23年3月24日　Glenn Gulak氏（カナダ・トロント大学・教授），Ali Sheikholeslami氏（カナダ・トロント大学・准教授），Wai-Tung Ng氏（カナダ・トロント大学・教授）と，バイオエレクトロニクスへの応用，高速データ転送技術への応用，DC-DC変換器への応用のそれぞれについて，意見交換を行った．特に，トロント大学ではアナログ集積回路のテスト環境が充実しており，今後，このシステムを活用して共同研究を推進していく可能性についても検討することとした．
- その他，松岡浩氏（日本原子力研究開発機構）と材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステインテグレーション技術に関する共同研究の一環として，不揮発性ロジック回路の応用に関して日常的に適宜研究打合せを行った．また，その総括として，平成21年2月27日に福田正大氏（宇宙航空開発機構）を交えたシステム応用とその効果・今後の展開等に関する意見交換を行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

新概念VLSIシステムとそのシステムインテグレーション技術に関連する本年度の具体的研究成果として，主な事項3点について以下に報告する：

（1）TMR素子を用いたロジックインメモリVLSIの構成

本研究代表者らの研究グループがこれまでに考案してきた，TMR素子等の不揮発性記憶素子をCMOS回路に組み込むことによって記憶機能と演算機能の一体化を実現することによる，高速，低消費電力かつコンパクトな回路構成であるロジックインメモリ技術に関する研究を行っている．記憶機能と演算機能を回路レベルでコンパクトに一体化する新しい演算デバイスを開発することで，メモリ・演算器間データ転送ボトルネックのない「超高速処理」回路・システムを実現する．また，不揮発性記憶機能が分散されたため，電源をオンすれば瞬時にシステムが起動する「クイックオン」機能と，使うときだけ回路に電流が流れる「ノーマリーオフ」機能が合わせて実現できるVLSIシステムを実現する．さらに，ハードウェア構成を変えずロジック機能を自由に変更できる「動的再構成可能」回路を実現し，しきい値電圧ばらつきなどの製造プロセス変動を調整できる新しい集積回路技術の有用性を実証することが可能となる．

TMR素子を用いたロジックインメモリ技術として，不揮発性ロジック回路の特徴である記憶・演算一体化機能を利用し，FPGA(Field Programmable Gate Array)の論理演算部（LUT）の高性能化・高機能化・高信頼化，並びにTCAM（Ternary CAM）の完全並列化・超低消費電力化を，実チップ動作で原理動作検証した．これらのTMRロジックに関しては，査読付き国際学会での発表を行い，学術論文，招待講演により，学外への発信を積極的に行った．

（2）電流モード多値回路技術に基づくマルチコアプロセッサと演算器，並びに多値回路の信頼性に関する研究の実施

VLSIチップ内の配線ボトルネックを解消するアーキテクチャとして重要なネットワークオンチップ（Network-on-Chip；NoC）は，今後の高性能LSI開発において重要な役割を果たすアーキテクチャとして，その構成論が着目されている．本研究代表者らは，非同期データ転送方式を組み込んだNoCの構成方法について取り組んでいる．非同期式制御では，データが届いてから転送を始めるため，無駄な電力消費を必要とせず，高速で高効率のデータ転送が実現できる可能性を有する．本研究代表者らの研究グループでは，電流モード多値信号を用いて，非同期データ転送を効率的に実現する方法を世界に先駆けて提案してきた．本年度は，電流モード多値データ転送方式をさらに改良して，オープン故障等の故障検出を極めて少ないハードウェアで実現できる回路構成方法，並びにその誤り訂正回路の構成方法等について検討し，これらの結果を，学術論文，査読付き国際会議論文にまとめた．

（3－2）波及効果と発展性など

情報通信用の次世代高性能ＶＬＳＩチップ実現技術に関する研究討論会を開催し，これに関する先端的技術の集積を行うことで，電気通信研究所が日本の情報通信関連技術の発信地となり、共同研究プロジェクトの趣旨に合致している．また，研究討論会にて議論するシステムインテグレーション技術は，次世代システムＬＳＩ技術に直結するものであり，

我が国半導体産業の活性化に大きく寄与するものである．特にTMR素子に基づく不揮発性ロジック技術は，現在電気通信研究所で推進中のプロジェクトである IT プログラムにおいて中核を占める研究内容であり，極めて革新性の高い研究である．

［4］成果資料

[1] S. Matsunaga, M. Natsui, K. Hiyama, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fine-Grained Power-Gating Scheme of a Metal-Oxide-Semiconductor and Magnetic-Tunnel-Junction-Hybrid Bit-Serial Ternary Content -Addressable Memory," Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP), Vol.49, 04DM05-1 ～ 04DM05-5, April 2010.

[2] T. Hanyu, "MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture and Its Impact," 28th IEEE VLSI Test Symposium, P.258, April 2010. (招待)

[3] A. Matsumoto, N. Onizawa, and T. Hanyu, "One-Color Two-Phase Asynchronous Communication Links Based on Multiple-Valued Simultaneous Control," Proc. 40th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.40, pp.211-216, Barcelona, Spain, May 2010.

[4] M. Natsui, T. Arimitsu, and T. Hanyu, "Low-Energy Pipelined Multiple-Valued Current -Mode Circuit with 8-Level Static Current-Source Control," Proc. 40th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.40, pp.235-240, Barcelona, Spain, May 2010.

[5] N. Onizawa and T. Hanyu, "A High-Throughput Protocol Converter Based on an Independent Encoding/Decoding Scheme for Asynchronous Network-on-Chip," Proc. 43rd International Symposium on Circuits and Systems, pp.157-160, Paris, France, May 2010.

[6] N. Onizawa, T. Funazaki, A. Matsumoto and T. Hanyu, "Accurate Asynchronous Network-on-Chip Simulation Based on a Delay-Aware Model," IEEE Computer Society Annual Symp. on VLSI 2010, pp.357-362, July 2010.

[7] H. Shirahama, T. Matsuura, M. Natsui, and T. Hanyu, "Energy-Aware Multiple-Valued Current -Mode Sequential Circuit Using a Completion -Detection Scheme," IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E93-D, No.8, pp.2080-2088, Aug. 2010.

[8] N. Onizawa and T. Hanyu, "Highly Reliable Multiple-Valued One-Phase Signaling for an Asynchronous On-Chip Communication Link," IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E93-D, No.8, pp.2089-2099, Aug. 2010.

[9] T. Hanyu, "Logic-in-Memory Architecture Using Si-MOSFETs and Magnetic Tunnel Junctions," 6th International Conference on Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), p.176, Aug. 2010. (招待)

[10] D. Suzuki, M. Natsui, H. Ohno and T. Hanyu, "Design of a Process-Variation-Aware Nonvolatile MTJ-Based Lookup-Table Circuit," 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), K-9-4, pp.1146-1147, Tokyo, September 2010.

[11] S. Matsunaga, M. Natsui, H. Ohno, and T. Hanyu, "Power-Aware Bit-Serial Binary Content-Addressable Memory Using Magnetic-Tunnel-Junction-Based Fine-Grained Power-Gating Scheme," 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), P-12-1, pp. 565-566, Tokyo, Sep. 2010.

[12] 羽生貴弘, "MTJ 素子に基づく不揮発性ロジックインメモリ VLSI アーキテクチャの展望," まぐね/Magnetics Jpn. Vol.6, No.1, pp.23―28, 2011.

[13] N. Onizawa, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "Interconnect-Fault-Resilient Delay--Insensitive Asynchronous Communication Link Based on Current-Flow Monitoring," Design, Automation & Test in Europe (DATE'11), pp.776-781, March 2011.

[14] N. Onizawa, V. C. Gaudet, and T. Hanyu, "Low-Energy Asynchronous Interleaver for Clockless Fully Parallel LDPC Decoding," IEEE Trans. on Circuits and Systems Part I, (to be published in 2011).

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０１

次世代第一原理計算手法の開発･応用

［1］組織

代表者：佐藤　和則
（大阪大学　基礎工学研究科）
対応者：白井　正文
（東北大学　電気通信研究所）
分担者：
阿部　和多加（東北大学　電気通信研究所）
三浦　良雄　（東北大学　電気通信研究所）
西松　　毅　（東北大学　金属材料研究所）
濱田　幾太郎（東北大学
原子分子材料科学高等研究機構）
真砂　　啓（東北大学
原子分子材料科学高等研究機構）
三宅　　隆（産業技術総合研究所／
科学技術振興機構）
前園　　涼（北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科）
豊田　雅之（北陸先端科学技術大学院大学
先端融合領域研究院）
Hannes Raebiger（横浜国立大学
工学研究院）
草部　浩一（大阪大学　基礎工学研究科）
木崎　栄年（大阪大学　基礎工学研究科）
福島　鉄也（大阪大学　基礎工学研究科）
森川　良忠（大阪大学　工学研究科）
小野　倫也（大阪大学　工学研究科）
柳澤　　将（大阪大学　工学研究科）
中西　　寛（大阪大学　工学研究科）
樋口　雅彦（信州大学　理学部）
樋口　克彦（広島大学
先端物質科学研究科）
光田　直樹（株式会社　本田技術研究所）
垣内　浩樹（株式会社　本田技術研究所）

研究費：物件費　５万円，旅費４５万４千円

［2］研究経過

密度汎関数法に局所密度近似を用いた第一原理電子状態計算法は，極めて広範囲な物質群の化学的・物理的性質を定性的に説明し，定量的な予言を高精度に行えることが，これまでに確認されてきている。現在では，この方法は，結晶成長・電極反応ダイナミクス，量子伝導現象の研究や，エキゾチック物質設計に基づく環境調和材料，高効率エネルギー変換材料の研究に用いられている。このように第一原理計算を実用的に用いる一方で，デザインの現場では局所密度近似を超えた手法の必要性も認識されており，多体電子論の最先端の成果を実用的な範囲で，それぞれの計算手法に取入れる必要が生じている。

本研究では，平成 22 年 11 月 10 日～11 日に東北大学電気通信研究所において，「次世代第一原理計算手法の開発・応用」研究会を開催し，上に挙げた第一原理計算による物質デザインや物性基礎論に実際に取り組んでいる中堅・若手研究者を集め，研究討論を行った。また，次世代第一原理計算手法の開発・応用，および物理現象を生かしたナノ情報デバイスの創成について議論した。

研究会には，科学研究費補助金（H17－H20 年度）特定領域研究「次世代量子シミュレーター・量子デザイン手法の開発と応用」関連研究者，コンピュテーショナルマテリアルデザイン（CMD）ネットワークのメンバー，ならびに企業から約 20 名の若手研究者が参加した。

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会は，(1) 電子相関，(2) エキゾチック物質設計，(3) 量子伝導現象，(4) 結晶成長・電極反応ダイナミクスの４つのセッションで構成され，それぞれ活発に議論が交わされた。

(1) 電子相関のセッションでは，電子状態計算法の高精度化に焦点を絞り，主に多電子問題の基礎理論について議論された。近年では材料設計の基礎理論として定着している密度汎関数法に関連して，多配置参照型密度汎関数理論，対密度汎関数理論，交換ホール関数の汎関数，ファンデルワールス密度汎関数の応用について研究発表が行われた。また，多電子系を明示的に取扱う量子モンテカルロ法の最近の発展として，電子正孔系への適用例が議論された。現実物質との対応については，電子相関の強い系の電子構造の系統的な解析法として，最局在ワニエ関数に依る方法を鉄系超伝導体の応用した研究，半導体スピントロニクス材料設計に関連して，半導体中

の遷移金属不純物の電子状態の議論が行われた。

(2) エキゾチック物質設計のセッションでは，電子状態計算法の物質設計への応用が議論された。対象とされた物質は多彩で，物性物理学の分野で近年盛んに研究が進んでいるものばかりである。第一原理計算の手法が，物性物理の強力な方法の一つとして認められていることがわかる。マルチフェロイック物質の設計，高圧下のホウ水素，物質中のプロトン・ミュオンの量子力学的振る舞いについて議論された。物質設計においては，しばしばマクロなスケールの現象をミクロなスケールの物理から理解する必要が生じる。そのような階層の異なるシミュレーションをつないだ多階層連結シミュレーションの一例として，強誘電体薄膜の分子動力学シミュレーションについて報告があった。

(3) 量子伝導現象のセッションでも具体的な物質設計，特に電子輸送特性についての議論が行われた。ナノグラフェンの量子輸送特性，ノンコリニアスピン系の電気伝導についての話題が提供された。物質科学と電子デバイスの架け橋となるトピックスで，先端的な電子状態計算の応用例である。また，新しい計算コードの開発として，実空間差分法による電子状態計算コードの発展について講義された。

(4) 結晶成長・電極反応ダイナミクスのセッションでは，より複雑な系として，表面での化学反応に焦点を絞った第一原理電子状態計算の研究について議論が行われた。自動車触媒の高効率化や有機電子デバイスの高性能化は，産業上インパクトの強い研究であるが，表面での電子状態の理解が不可欠であり，最先端の電子状態計算法が適用されている。具体例として，自動車用三元触媒に注目したインテリジェント触媒の自己再生機構に関する第一原理シミュレーション，およびペロブスカイト酸化物表面でのNO分子の吸着について議論された。また，有機エレクトロニクスのための材料として注目されているカーボンナノチューブ（CNT）に関する物質設計として，CNT/Au(111)界面の電子状態，有機エレクトロルミネッセンス素子の電子注入界面の設計として，Alq3/Mg(001)界面についての最近の計算結果が紹介された。

一方，デザインの実証にあったっては，現実物質の評価が非常に重要になる。表面の原子，電子状態の観測法の一つとして，ケルビンプローブフォース顕微鏡のシミュレーションとして，新しい数値計算の方法が提案された。

（3－2）波及効果と発展性など

研究分担者は，それぞれの研究分野で実際に第一原理計算に関わっている研究者であり，各研究内容について細部にわたる議論が交わされた。研究分担者の多くは，過去の特定領域研究等で共同研究を進めた経験があり，互いの研究内容についてはかなりの予備知識を有していたので，研究者間の意思疎通には全く問題がなく，2日間の研究会ではあったが，高密度の情報交換が行われた。本研究会での議論は，今後の新しい研究対象と物理現象を生かしたナノ情報デバイスの創成のアイデアにつながるものと期待できる。さらには次世代第一原理計算の開発と応用研究について，将来の方向性を提示するものと位置づけられる。

また，研究会での参加者相互の情報交換を通じて，新たな共同研究の立ち上げに向けた枠組みづくりが促進されると共に，当該研究領域における次世代リーダー候補の育成にもつながると期待できる。実際，平成22年度から科学研究費補助金新学術領域研究「コンピューティクスによる物質デザイン」がスタートしており，本研究会での議論が他プロジェクトの研究の萌芽となる可能性もある。

本研究会は，学術的な研究情報の公開および情報発信の場を提供することで，本研究分野の発展に寄与した。また，企業からの参加者も2名あり，産学連携研究へ向けたシーズを提供することができたと考えている。代表者や分担者の一部は，CMDネットワークに参加しており，第一原理計算の普及活動を行っているので，長期的にはCMDネットワークなどを通じた社会への研究成果の還元につながると期待できる。

［4］成果資料

(1) T. Miyake, K. Nakamura, R. Arita, and M. Imada, “Comparison of ab initio low-energy models for LaFePO, LaFeAsO, $BaFe_2As_2$, LiFeAs, FeSe, and FeTe: Electron correlation and covalency,” J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 044705 (2010).

(2) T. Miyake, T. Kosugi, S. Ishibashi, and K. Terakura, “Electronic structure of novel superconductor $Ca_4Al_2O_6Fe_2As_2$,” J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 123713 (2010).

(3) K. Kusakabe and I. Maruyama, “Theorems on ground-state phase transitions in Kohn-Sham models given by the Coulomb density functional,” J. Phys. A: Math. Theor.

44, 135305 (2011).

(4) K. Higuchi and M. Higuchi, "Computational pair density functional theory: A proposal for the kinetic energy functional," Phys. Rev. B **82**, 155135 (2010).

(5) R. Maezono, N. D. Drummond, A. Ma, and R. J. Needs, "Diamond to beta-tin phase transition in Si within diffusion quantum Monte Carlo," Phys. Rev. B **82**, 184108 (2010).

(6) M. Toyoda and T. Ozaki, "Exchange functional by a range-separated exchange hole," Phys. Rev. A **83**, 032515 (2011).

(7) I. Hamada and M. Otani, "Comparative van der Waals density-functional study of graphene on metal surfaces," Phys. Rev. B **82**, 153412 (2010).

(8) I. Hamada, "A van der Waals density functional study of ice Ih," J. Chem. Phys. **133**, 214503 (2010).

(9) H. Raebiger, "Theory of defect complexes in insulators," Phys. Rev. B **82**, 073104 (2010).

(10) T. Nishimatsu, M. Iwamoto, Y. Kawazoe, and U. V. Waghmare, "First-principles accurate total energy surfaces for polar structural distortions of $BaTiO_3$, $PbTiO_3$, and $SrTiO_3$: Consequences for structural transition temperatures," Phys. Rev. B **82**, 134106 (2010).

(11) T. Fukushima, K. Yamauchi, and S. Picozzi, "Magnetically induced ferroelectricity in Cu_2MnSnS_4 and $Cu_2MnSnSe_4$," Phys. Rev. B **82**, 014102 (2010).

(12) T. Fukushima, K. Yamauchi, and S. Picozzi, "*Ab initio* investigations of Fe^{2+}/Fe^{3+} bond dimerization and ferroelectricity induced by intermediate site/bond-centered charge ordering in magnetite," J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 014709 (2011).

(13) T. Ono and M. Heide, "Real-space electronic structure calculations with full-potential all-electron precision for transition metals," Phys. Rev. B **82**, 205115 (2010).

(14) T. Ono and S. Saito, "First-principles study on electronic structure of dangling bond at Ge/GeO_2 interfaces," Appl. Phys. Express **4**, 021303 (2011).

(15) Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, "Effects of interfacial noncollinear magnetic structures on spin-dependent conductance in $Co_2MnSi/MgO/Co_2MnSi$ magnetic tunnel junctions: A first-principles study," Phys. Rev. B **83**, 214411 (2011).

(16) H. K. Dibojono, A. A. B. Padama, N. Ozawa, H. Nakanishi, and H. Kasai, "A first-principles study on dissociation and adsorption processes of H_2 on Pd_3Ag (111) surface," Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 115702 (2010).

(17) A. Masago, M. Tsukada, and M. Shimizu, "Simulation method of Kelvin probe force microscopy at nanometer range and its application," Phys. Rev. B **82**, 195433 (2010).

(18) K. Toyoda, I. Hamada, K. Lee, S. Yanagisawa, and Y. Morikawa, "Density functional theoretical study of pentacene/noble metal interfaces with van der Waals corrections: Vacuum level shifts and electronic structures," J. Chem. Phys. **132**, 134703 (2010).

(19) K. Sato, L. Bergqvist, J. Kudrnovsky, P. H. Dederichs, O. Eriksson, I. Turek, B. Sanyal, G. Bouzerar, H. Katayama-Yoshida, V. A. Dinh, T. Fukushima, H. Kizaki, and R. Zeller, "First-principles theory of diluted magnetic semiconductors," Rev. Mod. Phys. **82**, 1633-1690 (2010).

(20) Y. Tani, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, "Materials design of spinodal nano-decomposition in $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ for high-efficiency solar energy conversion," Appl. Phys. Express **3**, 101201 (2010).

(21) D. V. Nguyen, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, "Giant Peltier effect in self-organized quasi-one-dimensional nano-structure in Cu-Ni alloy," Appl. Phys. Express **4**, 015203 (2011).

共同プロジェクト研究

採択回数　①　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０２

微粒子プラズマの応用とその基礎研究

［1］組織

代表者：三重野　哲
（静岡大学理学部）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤　徳芳（東北大学）
飯塚　哲　（東北大学工学研究科）
渡辺　征夫（九州大学）
石原　修　（横浜国立大学工学研究院）
上村　鉄雄（名城大学理工学研究科）
白谷　正治（九州大学ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
林　康明（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
高橋　和生（京都工芸繊維大学工芸科学研究科）
東辻　浩夫（岡山大学自然科学研究科）
足立　聡（宇宙航空研究開発機構）
寺嶋　和夫（東京大学大学院）
小塩　明（三重大学大学院工学研究科）
古閑　一憲（九州大学ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
増崎　貴（核融合科学研究所）
柴田　裕実（京都大学工学研究科）
布村　正太（産総研太陽光発電研究センター）
内田儀一郎（九州大学ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）

研究費：物件費４万２千円，旅費 39 万９千円

［2］研究経過

微粒子プラズマの研究・開発は，近年ますますその重要性を増している。プラズマ化学反応による超微細加工技術および薄膜作製技術は、現在の先端産業を支える重要な技術となっている。このプラズマプロセッシング技術の進展は、今後もナノ情報デバイス創成の基礎技術として必要である。特に、ナノテクノロジーと関連して、超薄膜、量子ドット、極超微細加工、ボトムアップ型ナノデバイス、ナノ粒子製造などの発展が大いに期待されているところである。ここで使われる反応性プラズマは、一般には、中性粒子、電子および正負イオンからなるが、作製の条件によっては、大きな質量を持つクラスター、フラーレン、ナノチューブ、ナノ結晶、あるいはミクロンサイズの微粒子が存在する。プラズマ中では、これらのナノ粒子や微粒子の表面に大量の電子が付着し、あたかも巨大な負イオンのように振舞う。こうしたプラズマは、微粒子プラズマ、ダストプラズマ、あるいはコンプレックスプラズマとも呼ばれている。大量の微粒子が含まれるプラズマは、通常のプラズマとは異なる、複合体としての新しい物理現象を示す。

本プロジェクト研究会では、ナノメータからミクロンサイズまでの微粒子を含む微粒子プラズマの基礎的性質を系統的に解明することを目的とする。そして、その基礎的成果に基づき、炭素系ナノ機能材料、シリコン系ドット型半導体薄膜等のナノ微細構造制御、高機能化や、次世代極超微細情報デバイスの材料プロセッシングに必要な微粒子プラズマの精密制御法を目指した研究を行う。さらには相転移・臨界現象など微細材料の基礎物性に関る諸問題を解明する場とすることも目的としている。以上の先駆的プロジェクト研究の展開のため、全国のプラズマやナノテクノロジーに関わる研究者の英知を集めて議論を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

研究会は、平成 21 年８月 30 日（月）~31 日（火）の１泊２日で、秋保・ホテルクレセントの会議室で行われた。

初日は、５件の講演が行われた。熊本大学、後藤教授による「超臨界プラズマを用いた反応実験」、京都工芸繊維大学、高橋准教授、林教授による「微小重力下での微粒子プラズマ実験」、東北大学、佐藤名誉教授による「微粒子閉じ込めに関与する電位構造」、岡山大学、東辻名誉教授による「超臨界条件とその性質」、横浜国大、近末氏、渡辺教授による「極低温での微粒子プラズマ

現象」であった。また、夕食後にナイトセッションとして、京都工芸繊維大学、林教授より「ロシア、ヨーロッパでの現状」、静岡大学、三重野教授より「アジア国際協力」の発表が有り、それぞれのテーマに対して自由な意見交換がなされた。

２日目は、朝食後、三重大学、小塩助教による「プラズマを用いた機能性カーボンナノチューブの合成」、静岡大学、三重野教授による「微小重力下での炭素クラスター合成」、九州大学、内田助教による「シリコンナノ微粒子の生成と太陽電池への応用」の講演がなされた。その後、昼食をはさんで、全体的内容について意見交換を行った。また、これからの活動計画、重点項目、宇宙ステーション研究について討論を行った。

［３］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，プラズマクーロン結晶で発生するボイドについて。国際宇宙ステーションでの微小重力クーロン結晶実験においては、常に、中心部にボイドが発生した。この機構の詳細はまだ解明されていないが、均一な結晶実験の為には、除去が必要である。佐藤は、新しい球状容器にベースボール・シーム型の電極を取り付けることにより、このボイドの発生しないクーロン結晶の発生に成功した。また、電場解析計算により、境界での電場が、この結晶形状に重要な役割を果たすことを示した。このような方法で、微小重力下、ボイドの無い均一なクーロン結晶を作れば、クーロン多体現象の解明に有効であると言える。

第２に，クーロン結晶条件で、臨界条件がどこに有るかを、東辻は、解析的に研究し、ある温度、密度、電荷条件で発生することを予言した。この計算結果付近の条件にて、クーロン結晶の臨界状態が実現できる。宇宙微小重力でのクーロン実験画像データを分析することにより、この臨界状態に近い部分を探査した。まだ臨界状態では無いが、その周囲の状態が存在することを見いだした。この超臨界状態と、高温高圧ガス相で発生する超臨界状態の比較を行った。後藤の研究と東辻、林、高橋の研究を比較することにより、２者の関係を検討した。ガス相での超臨界状態が、必ずしもクーロン結晶の超臨界状態に対応するとは限らない。特に、それらの条件での化学的活性や、プラズマ電荷効果は、かなり異なる事が分かった。

第３に、液体ヘリウム温度まで冷やした装置内でのクーロン結晶の発生と新奇現象について、石原らは、成果を出している。液体ヘリウム上でもクーロン結晶を作ることができた。この場合の結合度が大きいので、強結合でのクーロン結晶の現象観察が可能となる。詳しい実験はこれからであるが、星間ダストや中性子星内部構造とも関連した興味深い現象の発生が期待される。

第４に、ダストプラズマを用いた新奇ナノチューブ合成が有る。プラズマのアーク合成時に銅微粒子を加えることにより、特殊な気相反応が進み、銅ナノワイヤーを含んだ炭素ナノチューブの合成に成功した。ナノ銅線の例は希少で有り、今後のナノ材料応用への発展が多いに期待される。この内包銅線の安定性について、種々の実験を行い、炭素ナノチューブ内部での温度や圧力に対する結晶構造の変化に関連した特徴を持つことが分かった。また、合成条件により、銅の太さ、長さの制御可能性が見いだされた。

第５に、単層ナノチューブのアーク合成における重力効果の研究が挙げられる。三重野、譚は、旋回腕加速度発生装置を用い、定常高重力下でナノチューブを合成した。より大きい重力がより大きな熱対流を引き起こすので、合成反応時間は減少してしまう。一方、そこで発生する大型渦が粒子を上方から下方に再度運ぶ事が分かり、この渦作用が、繰り返し高温合成反応を可能にし、部分的に高品質ナノチューブ合成が起きることを示した。この現象の性質は、SMAC 法を用いた流体計算結果によっても支持された。

第６に、太陽電池に おけるシリコンナノ微粒子の有効性について、内田らの研究成果が有る。九大グループでは、シリコンナノ粒子を使い量子ドット増感型太陽電池を作製し、シリコンナノ粒子から外部回路へのキャリアの取り出しに成功した。この太陽電池は、ナノシリコン中でバンドギャップの２倍以上の光子エネルギーの光子１個で、２個以上の多重励起子を生成できる高効率太陽電池の実現につながる研究成果とみることができる。

（３－２）波及効果と発展性など

前節で述べたように、本プロジェクトと関連して多くの学術的成果が出つつある。一部は、プラズマ・境界部分における、「新領域研究」に発展して、全国的なグループ研究として活動している。一方、宇宙ステーション利用と関係して、ドイツ、ロシアとの共同研究は、引き続き行われており、次期計画での展開について、準備が進んでいる。また、若手ポスドク、大学院生への教育を含んだ交流の機会も持たれている。今後、微粒子プラズマを中心とした学際的研究交流が期待され、グループ研究や国際会議でのセッション立ち上げなどが検討されている。

［4］成果資料

(1) “Electrolysis Reaction Pathway for Lactic Acid in Subcritical Water”, A. Yulsel, M. Sasaki, M. Goto, Ind. Eng. Chem. Res. **50** (2011) 728-734（原著論文）.

(2)「ダストプラズマ研究における国際協力」、足立 聡, 東辻 浩夫, 高橋 和生, 林 康明, 高柳 昌弘, 日本マイクログラビティ応用学会誌, vol. 27, no. 3 (2010) 137−142.（解説記事）.

(3) ”Synthesis of Carbon-Nanotube Fine-Particles in a Glow-Discharge Plasma and Evaluation of Hydrogen Storage Properties”, Y. Hayashi, M. Imano, Y. Kinoshita, Y. Kimura and Y. Masaki, Jpn. J. Appl. Phys. (2011) (to be published,（原著論文）.

(4) "Developments of fine-particle plasma systems for basic and applied research”, Y. Hayashi, M. Imano, Y. Mizobata, and K. Takahashi, Plasma Sources Sci. Technol. **19** (2010) 034019（原著論文）.

(5) ” Growth of well-aligned carbon nanotubes by RF-DV|C plasma chemical vapor deposition”, Y. Hayashi, T. Fukumura, K. Odani, T. Matsuba, and R. Utsunomiya, Thin Solid Films, **518** (2010) 3506（原著論文）.

(6) “Possible observation of critical phenomena in fine particle (dusty, complex) plasmas: Two mechanisms and experimental conditions”, H. Totsuji, Microgravity Science and Technology, **23**, Issue 2, pp.159-167(2011)（原著論文）.

(7) “Restoration of Three-Dimensional Correlation Function and Structure Factor from Two-Dimensional Observations of Sliced Volume”, H. Totsuji, J. Phys. Soc. Jpn. , **79**, No.6, pp. 064002-1-5 (2010)（原著論文）.

(8) ”Cryogenic effect on dust grain charging in a plasma", W. Sekine and O. Ishihara, J. Plasma and Fusion Res. Ser. **9**, 416-421 (2010)（原著論文）.

(9) ”Dust Charging in Collisional Plasma in Cryogenic Environment", N. Uotani, J. Kubota, W. Sekine, M. Chikasue, M. Shindo, O. Ishihara, J. of Plasma and Fusion Res. Ser. **9**, 404-409 (2010)（原著論文）.

(10) “Efficient growth of multi-walled carbon nanotubes by continuous-wave laser vaporization of graphite containing B_4C”, F. Kokai, I. Nozaki, T. Okada, A. Koshio, T. Kuzumaki, Carbon, **49** (2011) 1173-1181（原著論文）.

(11) “Fabrication of two types of one-dimensional Si-C nanostructures by laser ablation”, F. Kokai, K. Uchiyama, T. Shimizu, A. Koshio, Appl. Phys. Lett. **101**, Sp. Iss. SI (2010) 497-502（原著論文）.

(12) ”Experimental and numerical studies of heat convection in the synthesis of single-walled carbon nanotubes by arc vaporization”, G-D. Tan, T. Mieno, Jpn. J. Appl. Phys., **49** (2010) 045102-1-6（原著論文）.

(13) ”Synthesis of single-walled carbon nanotubes by arc-vaporization under high gravity condition”, G-D. Tan, T. Mieno, Thin Solid Films, **518** (2010) 3541-3545（原著論文）.

(14) “Thin polymerized C_{60} coatings deposited in electrostatic field via electron-beam dispersion of fullerite”, I. Razanau, T. Mieno, V. Kazachenko, Thin Solid Films, 519 (2010) 1285-1292（原著論文）.

(15) "Deposition of a-Si:H films of high stability against light exposure by reducing deposition of nanoparticles formed in SiH_4 discharge", K. Koga, M. Shiratani, Y. Watanabe, Industrial Plasma Technology: Applications from Environmental to Energy Technologies, 2010.5, "WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. (2010) pp. 247-257（著書）.

(16) "Nano-Block Assembly Using Pulse RF Discharges with Amplitude Modulation, Industrial Plasma Technology", S. Iwashita, H. Miyata, K. Koga, and M. Shiratani", Applications from Environmental to Energy Technologies, 2010.5,"WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, in part, pp. 377-383 (2010)（著書）.

(17) "Quantum dot-sensitized solar cells using Si nanoparticles", Y. Kawashima, K. Nakahara, H. Sato, K. Koga, M. Shiratani, M. Kondo, Trans. Materials Society of Jpn, 2010.9, **35**, No. 3 (2010) pp. 597-599（原著論文）.

(18) "Highly Conducting Very Thin ZnO:Al Films with ZnO Buffer Layer Fabricated by Solid Phase Crystallization from Amorphous Phase", N. Itagaki, K. Kuwahara, K. Nakahara, D. Y amashita, G. Uchida, K. Koga, M. Shiratani, Applied Phys. Express **4** (2011) 011101（原著論文）.

(19) "High rate deposition of highly stable a-Si:H films using multi-hollow discharges for thin films solar cells", W. M. Nakamura, H. Matsuzaki, H. Sato, Y. Kawashima, K. Koga, M. Shiratani, Surface and Coatings Technology, **205**, (2010) pp. S241-S245（原著論文）.

(20) “Effect of high Xe-concentration in a plasma display panel with a SrCaO cathode”, G. Uchida, S. Uchida, T. Akiyama, H. Kajiyama, and T. Shinoda, J. App. Phys., **107** (2010) p. 103311（原著論文）.

(21) “Analysis of transient electron energy in a micro dielectric barrier discharge for a high performance plasma display panel”, G. Uchida, S. Uchida, H. Kajiyama, and T. Shinoda, J. Appl. Phys. **107** (2010) p. 023305（原著論文）.

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０３

ナノ構造磁性材料の開発とMEMSへの応用に関する研究

［1］組織

代表者：中野　正基
（長崎大学工学部）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
福永　博俊（長崎大学工学部）
柳井　武志（長崎大学工学部）
曽根原　誠（信州大学工学部）
本田　崇(九州工業大学大学院工学研究院)
竹澤昌晃(九州工業大学大学院工学研究院)

研究費　：　旅費37万9百円

［2］研究経過

携帯電話やパソコンを始め情報通信機器の進展には目覚ましいものがあり，次世代のそれら機器に対応するあたり，材料からデバイスまで一貫した研究開発が必要不可欠となる。中でも，MEMSやアクチュエータ，磁気センサ，インダクタなどの磁気部品は多種多様利用されており，これらの小型化・高性能化が急務となっている。そこで，本プロジェクトの研究目的として，①「計算機シミュレーションを利用したナノ構造磁性材料の設計を行う研究者」・②「ナノ構造磁性材料を作製ならびに構造評価等を行う研究者」・③「ナノ構造磁性材料を利用し，MEMSへの応用を図る研究者」の3つのグループにより構成される研究者が一同に介し，開発における分野を横断した議論をもとに本分野の発展を図ることを目的とする。以下，研究活動状況の概要を記す。

日　時：平成22年12月21日（火）10：30〜17：00
場　所：東北大学電気通信研究所
（〒980-8577　仙台市青葉区片平2-1-1）
テーマ：「ナノ構造磁性材料の開発とMEMSへの応用に関する研究」

12月21日（火）
10：30　〜　11：10
「マイクロマシン用厚膜磁石の開発に関する研究」
長崎大学工学部　准教授　　中野　正基
11：10　〜　11：50
「マイクロマシン用軟磁性膜作製に関する研究」
長崎大学工学部　助教　　柳井　武志
11：50　〜　13：00　　＜休　憩＞
13：00　〜　13：40
「外部磁界で駆動するマイクロポンプの開発」
九州工業大学大学院工学研究院　教授　　本田　崇
13：40　〜　14：20
「高分解能磁気Kerr効果顕微鏡を用いた永久磁石材料の磁区観察」
九州工業大学大学院工学研究院准教授　竹澤昌晃
14：20　〜　15：00
「各種高周波インダクタの集積化に関する研究」
信州大学工学部　助教　　曽根原　誠
15：00　〜　17：00　　研究室見学等

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果について講演発表すると共に，質疑・討論を行った.

まず最初に，MEMSへの応用を図る等方性Nd-Fe-B系厚膜磁石の特性向上を鑑み、(1)保磁力向上に対し資源豊富なベースメタルであるCu元素の利用、(2)高残留磁化であるNd-poorな組成を有する試料への添加元素を用いた特性向上、(3)シリンダ型モータへの展開を考慮した10 μm厚Ta基板上への80 μm厚Nd-Fe-B系厚膜磁石の成膜ならびに、その厚膜試料の1.6 mm径程度のリング状の打ち抜き加工の実現、(4)半導体デバイスとの融合を見据えたTaバッファー層付きSi基板上への成膜と硬磁気特性化について活発な議論ならびに質疑討論がなされた。

次に,ナノ構造磁性材料を利用したMEMSデバイスの流体応用として、可動子に希土類永久磁石を組み込んだマイクロポンプについての講演がなされた。本ポンプは外部磁界でワイヤレス駆動できることを特徴とし、生体内での体液シャントや投薬デバイス等の医療応用が期待される。本プロジェクトでは小型化する場合の課題や生体適合性等について議論し、用途に応じたポンプ原理の選定の重要性を明らかにするとともに、解決すべき問題点を抽出した。

その次の議題として,高分解能磁気Kerr効果顕微鏡を用いて,HDDR法により作製したナノ寸法結晶粒を有するNd-Fe-B系磁石試料の磁区観察を行い、その保磁力が磁化反転領域の面積と強い相関があることについての発表がなされた。磁化反転領域の面積が異なる試料では結晶粒界組織に違いがあることが分かっており、特に非磁性Ndリッチ相の存在が磁壁ピンニング力を増大し、磁石の磁化反転・減磁を抑制しているものと考えられる。このことにより、磁石試料の耐熱性改善指針を導出することができた。

最後の議題として,(1)「Fe系アモルファス微粒子分散複合材料を用いた集積化電源用プレーナインダクタの研究」ならびに(2)「CSP RF-IC用ナノグラニュラー磁性膜装荷スパイラルインダクタの研究」が紹介された.

(1)では,LSIパッケージ内集積化DC-DCコンバータにおける高周波大電流駆動用インダクタの試作と特性評価を行なった.パッケージ内に集積化するためには,インダクタをより小型かつインダクタからの漏洩磁束を無くす必要がある.そこで本研究では,平均粒子径が2.6 μmのFe系アモルファス微粒子をポリイミド中に分散させた複合材料を磁心とし,外鉄磁心構造のインダクタを検討した.粒子間のポリイミドは磁気ギャップとして作用し,微粒子単独よりも飽和磁化は低下するものの,100 kA/m程度まで磁気飽和しない特長を有する.850 μm角サイズのインダクタを作製したところ,100 MHzでインダクタンスが約11 nH,Q値が20を超す特性を得ることができた.インダクタンスは空心の約4倍であり,空心と同等のインダクタンスを得るのであれば,面積はその1/4で良いことになり,大幅な小型化が期待できる.

(2)では,携帯電話端末などのRFフロントエンドにおけるGHz帯用薄膜インダクタの試作と特性評価を行なった.　現在RFフロントエンド部分においては,能動素子と受動素子の三次元レイアウトが試みられているが,インダクタからの漏洩磁界（クロストーク）の問題がある.そこで本研究では,クロストークを抑制するためインダクタの上下に磁性膜を配置した磁性膜装荷型インダクタを作製した.

磁性膜には,2.4 GHzに強磁性共鳴周波数をもち,共鳴幅が狭いCoFeSiO (6 nm)／SiO_2 (1 nm)グラニュラー積層膜 (100 nm)を使用した.670 μm角サイズのインダクタを作製したが,空心インダクタに比べて,インダクタンスの増加およびクロストーク抑制効果があまり得られていない.改善する手段は既に考案しており,次年度以降の課題が提起された.

（３－２）波及効果と発展性など

上記の研究内容を踏まえて,今後発展が考えられる内容を列挙する。

(1) 着磁方向に高い自由度を有する等方性厚膜磁石を搭載した,シリンダ型マイクロモータへの応用が期待される.

(2)　マイクロポンプの携帯情報通信機器への応用として、超小型燃料電池やCPUの液冷システムへの展開について検討を行い、効率や耐久性等に課題があるものの実用的な応用として期待される.

(3)　ナノ寸法結晶粒試料の磁区観察のためには顕微鏡の高分解能化が必要であり、観察光として波長365 nmの紫外光を用いることで、ナノメートル寸法の磁区観察空間分解能を得ることを実現し,更なる微細な磁区構造への進展が期待される.

(4)　2 Aの直流重畳電流を流してもインダクタンス値は低下することがなく,大電流用インダクタの可能性が示されると共に,複合材料における磁性微粒子が数百nmオーダーになれば,粒子内のうず電流損は粒子径の２乗に反比例するため,Q値は高くなり,より低損失なインダクタが期待される.

［4］成果資料

(1) M. Nakano, S. Sato, T. Yanai, H. Fukunaga, and F. Yamashita : “Anisotropic Nd-Fe-B thick film magnets prepared on various substrates”, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 200, 082021-1(2010).

(2) M. Ishimaru, M. Itakura, M. Nishida, M. Nakano and H. Fukunaga : “Microstructure Analysis of High Coercivity PLD-Made Nd-Fe-B Thick-Film Improved by Tb-Coating-Diffusion Treatment”, Materials Transactions, Vol. 51, No.10, 1939(2010).

(3) F. Yamashita, N. Menjo, S. Nishimura, O. Kobayashi, M. Itoh, K. Terada, M. Nakano, H. Fukunaga and K. Ishiyama : “Multi-polarly micro rotor prepared from isotropic nanocrystalline films with self-bonding layer”, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 266, 012051-1(2011).

(4) M. Nakano, M. Sahara, K. Yamawaki, T. Yanai, and H. Fukunaga : Magnetic properties of Nd-Fe-B thick film magnets prepared by using arc deposition, *Journal of Applied Physics*, Vol. 107, 09A744-1 (2010) .

(5) H. Fukunaga, H. Nakayama, T. Kamikawatoko, T. Yanai, M. Nakano, F. Yamashita, S. Ohta, M. Itakura and M. Nishida : “Magnetic properties of Nd-Fe-B/α-Fe multi-layered thick film magnets”, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 266, 012027-1(2011).

(6) 本田崇：磁気駆動型水中マイクロロボットを使った科学教材、日本磁気学会誌 Vol.5, No.5, 212(2010).

(7) 竹澤 昌晃: “光で見る磁石（磁性材料）の磁気的微細構造”, 電気学会誌, Vol.130, 544 (2010).

(8) M. Takezawa, K. Maruko, N. Tani, Y. Morimoto, J. Yamasaki, N. Nozawa, T. Nishiuchi and S. Hirosawa: “Magnetic Domain Observation of Hydrogenation-Disproportionation-Desorption-Recombination Processed Nd-Fe-B Magnets with High- Resolution Kerr Microscope Using Ultraviolet Light”, Proc. 21st Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications, Bled, Slovenia, 51 (2010).

(9) M. Takezawa, K. Maruko, N. Tani, Y. Morimoto, J. Yamasaki, T. Nishiuchi and S. Hirosawa: “Magnetic domain observation of hydrogenation disproportionation desorption recombination processed Nd-Fe-B powder with a high-resolution Kerr microscope using ultraviolet light”, J. Appl. Phys., Vol.107, pp.09A724 (2010).

(10) 曽根原 誠, 加山 慎二, 佐藤 敏郎, 山沢 清人, 三浦 義正：信号線路に無電解Ni-P合金めっき膜を被覆した低クロストーク高密度プリント回路基板の作製と特性評価, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 35, 2, (2011, In press).

(11) 曽根原 誠, 後藤 貴登, 佐藤 敏郎, 小川 圭介, 山沢 清人, 三浦 義正, 浅沼 和志：Fe／Mn-Ir交換結合単磁区磁性薄膜の磁気 Kerr 効果を用いた光信号式歪センサの基礎検討, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 34, 6, 593 (2010).

(12) Makoto Sonehara, Takahiro Shinohara, Toshiro Sato, Kiyohito Yamasawa, Yoshimasa Miura: Strain sensor using stress-magnetoresistance effect of Ni-Fe/Mn-Ir exchange-coupled magnetic film, Journal of Applied Physics, Vol.107, 9, 09E718-1 (2010).

(13) Makoto Munakata, Shin-ichi Aoqui, Masatoshi Ohkoshi, Koichiro Maki, Makoto Sonehara, Kenji Ikeda, Toshiro Sato: Crystal Orientation of Co35Fe65 Thin Film for the GHz Frequency Use with More Than 10 GHz, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 34, 3, 248 (2010).

(14) 池田 賢司, 鈴木 利昌, 丸山 誠礼, 峯村 知剛, 曽根原 誠, 佐藤 敏郎：非常に狭い強磁性共鳴線幅を有する CoFeSiO/SiO2 積層グラニュラー磁性膜を用いたダブルスパイラル構造インダクタ, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 34, 2, 123 (2010).

共同プロジェクト研究

採択回数　1　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０４

生体情報インタフェース創生のためのフォトニクス研究

［1］組織

代表者：四方　潤一
（東北大学電気通信研究所）
対応者：四方　潤一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤　学（山形大学大学院理工学研究科）
松浦　祐司（東北大学大学院医工学研究科）
芳賀　洋一（東北大学大学院医工学研究科）
虫明　元（東北大学大学院医学研究科）
八尾　寛（東北大学大学院生命科学研究科）
小山内　実（東北大学大学院医学研究科）
松尾　行雄（東北学院大学教養学部）
渡部　裕輝（山形大学大学院理工学研究科）
石塚　徹（東北大学大学院生命科学研究科）
坂本　一寛（東北大学電気通信研究所）
古澤　義人（東北大学付属病院）

研究費：物件費１０万６千円，旅費５万円

［2］研究経過

高齢化社会が加速する現在、脳卒中等脳機能疾患の診断・治療法だけでなく、患者のQOL（quality of life）を向上させる新たな科学技術として、脳活動をもとに機械やコンピュータを操作するブレイン・マシン・インタフェースの研究開発が強く望まれており、そこでは脳の活動を組織レベルから細胞レベルで高速・多元的に捉える安全な計測法が不可欠である。本プロジェクトでは、フォトニクス、超音波工学、MEMS技術等を基盤として、非接触・非破壊・ラベルフリーに生体情報を解読・制御する革新的インタフェースの実現を目的として研究を実施した。

本プロジェクトの初年度である本年度は、各メンバーの研究内容について相互理解を深めるとともに、本プロジェクトの目的を達成するための方針設定を行うため、平成22年7月23～24日および12月10日に電気通信研究所において、東北大学、山形大学、東北学院大学の医学・生命科学・工学・医工学研究者が参加して研究会を開催し、9件の発表と総合討論を行った。そこでは、金属・半導体プローブを用いた脳活動計測・機能解析、オプトジェネティクスによる脳・神経細胞の構造・機能解析、脳・神経細胞のカルシウムイメージング、光コヒーレンストモグラフィー（OCT）による脳計測、線形・非線形フォトニクスによるバイオイメージング、光イメージング・治療のための医用ファイバプローブ技術、広帯域超音波イメージング技術等の研究紹介が行われた。また、上記の研究紹介とともに、それぞれの立場から活発な討論が行われ、今後の共同研究の方向性や焦点となる具体的研究課題について検討がなされた。以下、研究会のプログラムを示す。

第1回：平成22年7月23日，24日
場所：東北大学電気通信研究所　2号館中会議室
１．開会挨拶　四方潤一（東北大学）
２．革新的ブレイン・イメージングの必要性：坂本一寛（東北大学）
３．構造－機能連関解析に基づくチャネルロドプシンの最適化とオプトジェネティクスへの応用：石塚徹（東北大学）
４．OCTを用いた脳組織活性モニターに関する基礎検討－組織温度とOCT信号との相関について－：佐藤学（山形大学）
５．中空光ファイバプローブを用いた光治療・診断装置の開発：松浦祐司、渡邊智紀、木野彩子（東北大学）
６．ラベルフリー脳・神経活動計測に向けたフォトニクス技術：四方 潤一（東北大学）
７．総合討論

第2回：平成22年12月10日
場所：東北大学電気通信研究所　2号館W217号室
１．開会挨拶　四方 潤一（東北大学）
２．リアルタイムOCTシステムの開発：渡部裕輝（山形大学）
３．広帯域超音波を用いた時間周波数解析による空間表現：松尾行雄（東北学院大学）
４．多細胞カルシウムイメージングによる神経回路機能の可視化：小山内実（東北大学）
５．動的脳局所回路機能と技術開発：虫明元（東北大学）
６．総合討論

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

① 脳・神経系の構造・機能について医学・生物学・工学・心理学・物理学的な学際的研究と脳・神経系活動計測のインタフェースの現状を明らかにした。また、半導体電極を用いた活動電位計測と高次脳機能解析を実現し、光ファイバプローブ等を用いたブレインイメージングの可能性を議論した。

② 遺伝子工学を用いて高感度な光感受性タンパク質（チャネルロドプシン）を神経細胞に発現させ、光（種々の波長の可視光）の照射による非接触・非破壊な活動電位の発生・制御技術を実現した。これに基づき、フォトニクス技術によるブレイン・マシンインタフェースの可能性について議論した。

③ 深部到達可能な近赤外光（1.3 μm 帯）を用いた OCT システムを構築し、ラット脳計測へと応用した。そこでは脳組織の断層構造や OCT 信号と生理活性状態の相関を明らかにするとともに、より深部への到達や脳活動情報の取得の可能性について議論した。

④ 近赤外・中赤外光伝搬用の中空光ファイバプローブを開発し、内視鏡下における低侵襲なバイオプシーや分光イメージング応用として、結石破砕の基礎実験や生体組織のラマンイメージング・赤外 ATR 分光に成功した。また、ファイバプローブのバンドル化、テラヘルツ波等の極端波長域や超短光パルス伝送応用の可能性について議論した。

⑤ 線形・非線形効果を用いた脳・神経系関連のバイオイメージング技術を現状を明らかにした。また、テラヘルツ波の発生・極微細空間制御を実現するとともに、非線形光学効果を用いた生体分子計測・バイオイメージングシステムを実現した。さらに、ラベルフリー脳・神経活動の光計測法、要素となる光デバイス技術、深部計測法の可能性について議論した。

⑥ 高速な OCT 画像取得のため、分光データをフーリエ変換して深さ情報を得るフーリエドメイン OCT システムを開発し、光軸方向で数十 kHz のデータ取得レートを実現した。さらに、GPU の導入による FFT 信号処理の高速化を行い、リアルタイム OCT 計測を実現した。

⑦ 生体深部到達に有望な超音波による音響イメージングにおいて、周波数チャープした広帯域超音波のエコーを用いた時間周波数解析により、近接する複数物体の奥行きを高精度に推定する手法を提案し、2〜3 個の物体を用いた奥行き推定の実験によりその有用性を確かめた。さらに、本研究対象に関連した信号処理・解析法の可能性を議論した。

⑧ 刺激により惹起された視覚野信号伝播のカルシウムイメージングに成功した。その応答の機構として、活動電位の伝播は興奮性シナプス伝達、空間的局在は物理的な神経回路でなく抑制性シナプスによるものであることを明らかにした。さらに、自発カルシウムリズムが大脳皮質からの入力により制御されており、ニューロンとグリアの双方の細胞で起こることを明らかにした。

⑨ 動的脳局所回路機能に関連した動的情報表現として全補足運動野および前頭前野の具体例を示し、動的システムとしての情報表現、細胞レベル・局所回路レベル・領域レベルのニューラルネットワークにおける状態維持・遷移機構研究の現状を明らかにした。さらに計測手法として多機能集積化シリコン電極の開発例を示し、遺伝子工学・機械電子工学・光学等を融合した次世代の多機能集積化電極の必要性・可能性について議論した。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会の目標は、これまで脳・神経系等の生体情報計測において決定的手法が確立されていない中、初めて非侵襲・非破壊かつ高速・高精度に計測・制御の双方を実現する理想的インタフェースを実現することにある。このため、生命科学・医学・電子情報通信を融合する新しい科学技術分野・産業の創生において、本研究成果の波及効果は大きい。

本年度は、本プロジェクトを通じて学内外研究者間の交流が活発化され、研究者ネットワーク拡大された結果、医学・生命科学・工学・医工学の多岐にわたる分野で中核をなす研究者らによる研究会開催に至った。そこでは、多くの若手研究者の発表、一流研究者との活発な意見交換・討論を通じて、若手研究者の育成にも大いに貢献している。また、本プロジェクトを通じて、メンバーの一部は東北大学包括的脳科学研究・教育推進センターにも参画するに至っており、主催の国際シンポジウムをはじめ、今後の脳・神経科学の発展にも大きく貢献することが期待される。

本研究で得られた知見は、脳・神経活動のラベルフリー光計測の実現に向けた共同研究の開始にも発展している。今後、新たな生体情報インタフェースの創生に関する萌芽的研究への展開が期待され、さらに継続的に研究を深めていく予定である。

［4］成果資料

1. K. Sakamoto, Y. Katori, N. Saito, J. Tanji, K. Aihara, and H. Mushiake, “The modulation of firing variability can be used to access the dynamical state in neuronal networks,” J. Physiol. Sci. **60**, 191 (2010).
2. Y. Katori, K. Sakamoto, H. Mushiake, and K. Aihara, “Representational transition in a multi-stable attractor model of the prefrontal cortex,” J. Physiol. Sci. **60**, S64 (2010).
3. Y. Katori, K. Sakamoto, H. Mushiake, and K. Aihara, “Transition of information representation in a multi-stable attractor model of the prefrontal cortex,” Neurosci. Res. **68**, 324 (2010).
4. L. Wen, H. Wang, S. Tanimoto, R. Egawa, Y. Matsuzaka, H. Mushiake, T. Ishizuka, and H. Yawo, “Opto-current-clamp actuation of cortical neurons using a strategically designed channelrhodopsin” PLoS ONE 5, e12893 (2010).
5. M. Osanai, S. Tanaka, Y. Takeno, S. Takimoto, T. Yagi, “Spatiotemporal Properties of the Action Potential Propagation in the Mouse Visual Cortical Slice Analyzed by Calcium Imaging,” PLoS ONE **5**, e13738 (2010).
6. M. Osanai, N. Yamada, Y. Yaguchi, A. Tamura, and I. Mori, “Spontaneous calcium transients in neurons and astrocytes of the striatum,” 29th Naito Conf. GLIA WORLD -Dynamic Function of Glial Cells in the Brain- (2010).
7. M. Osanai, A. Tamura, and I. Mori, “Firing properties of medium spiny projection neuron in striatum could be modulated by the long-lasting spontaneous calcium rhythm,” 33rd Ann. Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuro 2010) (2010)
8. M. Osanai, F. Oboshi, N. Yamada, and I. Mori, “Effect of the cortical activities on the spontaneous Ca2+ rhythm in the striatum,” J. Physiol. Sci. **60**, S131 (2010).
9. J. Yokose, T. Ishizuka, T. Yoshida, J. Aoki, Y. Koyanagi, and H. Yawo, “Lineage analysis of newly-generated neurons in organotypic culture of hippocampus,” Neurosci. Res. **69**, 223 (2011).
10. 田村 篤史, 八木 哲也, 小山内 実, “視床下核電気刺激に対する神経応答のカルシウムイメージングによる計測,” 電気学会論文誌 **C 131**, 42 (2011).
11. 八尾寛, “光で脳をコントロール,” 日経サイエンス **41**, 59 (2011).

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０５

ナノスケールのゆらぎ･電子相関制御に基づく新規ナノデバイス

［1］組織

代表者：白石　賢二
（筑波大院・数理物質科学研究科）
対応者：大野　英男
（東北大学・電気通信研究所）
分担者：
押山　淳（東大院・工学系研究科）
中山　弘（大阪市立大学・工学部）
纐纈　明伯（東京農工大・工学部）
一宮　彪彦（日本女子大学・理学部）
大野　隆央（物質材料研究機構）
伊藤　智徳（三重大学・工学部）
長谷川修司（東大院・理学系研究科）
中山　隆史（千葉大・理学部）
山口　浩司（ＮＴＴ物性基礎研）
野村晋太郎（筑波大院・数理物質科学研究科）
遠藤　哲郎（東北大・学際センタ）
名取　研二（筑波大院・数理物質科学研究科）
平山　祥郎（東北大院・理学研究科）
宮崎　誠一（広島大院・先端物質科学研究科）
名西やすし（立命館大・理工学部）

研究費：物件費 50,000 円,　旅費 412,000 円

［2］研究経過

今日の半導体ナノデバイス技術の進展は目覚しく、ゲート絶縁膜、半導体チャネル等、ナノデバイスの各々の構成要素がナノスケールで構成されるようになってきている。実際、商用化されているパソコンに搭載されているMOSFETのゲート絶縁膜厚ですら２０Å未満になっており、ゲート絶縁膜を量子力学的にトンネルするリーク電流が大問題になっている。これらから容易に推測されるように、次世代のナノデバイスの発展には、従来のスケーリングだけではなく、新しいサイエンスに立脚したデバイス機能の向上が必要不可欠となっている。

中でも特に注目すべきことは、デバイス動作を支配する電子数が劇的に減少し、少数電子系に起因するゆらぎと電子相関効果が顕著になっており、これらの制御なしに次世代の新原理ナノデバイスの創成はありえないことである。

ところが、少数電子で動作するナノデバイス中のゆらぎ・電子相関制御の基盤となる物理概念はいまだ不十分である。このような状況の下、本プロジェクト研究会はナノ構造の作製･評価･理論解析の専門家による討論の場を設け、新デバイス創成に資する知見の獲得を目指した本プロジェクト研究会が平成２２年度の東北大学電気通信研究所プロジェクト研究会として採択された。本プロジェクト研究会のメンバー構成は、半導体サイエンスからは「ナノ電子物性理論」、「時間分解光物性」、「メソスコピック物理」等、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」、「半導体回路技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織した。このような国内第一線級のメンバーによる討論と通じて、「ナノスケール特有のゆらぎと電子相関の制御を可能とする新学理の提案･創成」と「ナノスケールのゆらぎと電子相関を積極的に利用するデバイスの考案」を行うことが本プロジェクト研究会の目的である。本プロジェクト研究会の目的は、まさにBeyond CMOSの技術の具現化であると位置づけられる。

第１回の当該共同プロジェクト研究会は平成２２年１１月２６日（金）～２７日（土）にかけて、宮城県黒川郡大和町の「ベルサンピアみやぎ泉」で開催され、１７名の参加者による１６件の成果発表と極めて活発な討論が行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

平成２２年度の第１回共同プロジェクト研究会は研究分担者に「ナノスケール独特のゆらぎと電子相関とその制御」に関する研究発表を構成メンバーを中心に募集して、平成２２年１１月２６日（金）～２７日（土）にかけて、宮城県黒川郡大和町の「ベルサンピアみやぎ泉」で開催した。平成２２年度の第１回研究会は、１７名の参加者によって熱のこもった討論が展開され、ナノデバイス中におけるゆらぎと電子相関に関する新しい学問分野を開拓しようという参加者の熱意と気概がひしひしと伝わってきた。

以下に第一回のプロジェクト研究会プログラムを記載する。

１１月２６日（金）

13:29-13:30
はじめに　　筑波大院・数理物質科学研究科　白石賢二

13:30-13:55
自己形成量子ドットの精密な成長制御と３次元構造化　　神戸大院・工学研究科　喜多　隆

13:55-14:20
化合物半導体の構造多形に関する一考察　　三重大学院・工学研究科　伊藤智徳

14:20-14:45
グリーン系LD, LEDのためのInGaN-HVPE成長の可能性　　東京農工大・工学部　纐纈明伯

14:45-15:10
水の強誘電相　　物質・材料研究機構　大野隆央

── 休憩　15:10-15:30 ──

15:30-15:55
チューナブルな結合機械共振器とそのセンシング応用　　NTT物性基礎研　岡本　創

15:55-16:20
複合フェルミオン描像による分数量子ホール効果領域発光の理解　筑波大院・数理物質科学研究科　野村晋太郎

16:20-16:45
InSb 二次元系の抵抗検出核磁気共鳴（NMR）　東北大院・理学研究科ERATO核スピンエレクトロニクスＰＪ　平山祥郎

16:45-17:00
MTJ・CMOS　Hybried集積回路　　東北大・学際センター　遠藤哲郎

17:00-17:15
ナノデバイス中の電子ダイナミクス　東北大・学際センター　村口正和

17:15-17:40
Ｓi ナノワイヤ・トランジスタの動作機構　　東京工大・フロンティア研究機構　名取研二

──夕食休憩　17:40-19:30 ──　（夕食 18:30〜）

19:30-19:55
40nm垂直異方性磁気トンネル接合　東北大・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター、電気通信研究所　大野英男

19:55-20:20
緑色レーザー実現に向けた窒化物の理論　筑波大院・数理物質科学研究科　白石賢二

20:20-20:45
Ｓｉ系有機・無機ハイブリッド薄膜材料の開発と応用　　大阪市大&大阪市大ＶＢ・マテリアルデザインファクトリー　中山　弘

20:45──
パネル討論「ナノ構造中の電子輸送と揺らぎ　―プロセス揺らぎ・デバイス揺らぎ・物理的な揺らぎに強い次世代のナノデバイスの姿を明らかにする―」

１１月２７日（土）

9:00- 9:25
Si(111)√3×√3Ag 表面上の銀成長　　日本女子大・理学部　一宮彪彦

9:25-9:50
界面不純物によるショットキーバリアの変調：その化学的傾向　　千葉大・理学部　中山隆史

9:50-10:15
Bi表面上でのスピン偏極電流の検出　　東大院・理学系研究科　長谷川修司

10:15-11:20
総合討論

11:20-11:23
おわりに　　東北大・省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター、通研　大野英男

平成２２年度の第一回プロジェクト研究会では、(1)「ナノ構造によるゆらぎと電子相関の科学」に関する研究成果と(2)「ナノデバイスのゆらぎ制御」に示唆を与える研究成果、という本研究会において最重要と考えられる成果発表が多く行われた。例えば「Siナノワイヤ・トランジスタの動作機構（東京工大　名取）」や「ナノデバイス中の電子ダイナミク

ス（東北大・学際センター　村口）では、ナノ構造体中における電子輸送の最もベースとなる機構が明らかとなり、ナノ構造中における電子ゆらぎ・電子相関の科学に示唆を与える研究内容であった。また、「Bi 表面上でのスピン偏極電流の検出（東大院・理学系研究科　長谷川）」では表面を流れるスピン編曲電流の検出技術の進歩をうかがわせる発表であり、将来のスピン偏極電流ゆらぎの高感度検出技術につながることを期待させる研究成果である。

他にもナノ構造中ゆえ生じるゆらぎと電子相関の重要性を起源とする物理現象等に関する発表は多く行われ、これらの現象の解明が「２１世紀の半導体サイエンス・テクノロジーのキー」に繋がることが予感された。

（３－２）波及効果と発展性など

今回の研究会で未踏の学問分野であり、かつ次世代ナノデバイス開発に不可欠となる「ナノスケールのゆらぎ・電子相関制御」に焦点を当てられたことは、極めて大きいと考えている。

今後はナノ構造中ゆえ生じる動的な電子相関効果等への発展が期待され、物性物理学における新しい学問分野の創成とそこを端緒に誕生する新しいデバイス原理が期待される。

第２回目以降の共同プロジェクト研究会おいては、第１回目の研究会で得られた成果を基礎にさらに大きな発展を目指してゆく所存である。

共同プロジェクト研究

採択回数	①	2	3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０６

High-Q マイクロ波超伝導共振器を用いた大規模量子検出アレイに関する研究

［1］組織

代表者：宮崎　利行
（理化学研究所）
対応者：佐藤　茂雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
猪股　邦宏　（理化学研究所）
福田　大治　（産業技術総合研究所）
藤井　剛　（産業技術総合研究所、日本大学）
伊豫本　直子　（東京大学大学院）
田中　啓一　（エスアイアイ・ナノテクノロジー）
日高　睦夫　（超電導工学研究所）
服部　誠　（東北大学大学院理学研究科）
小野美　武　（東北大学電気通信研究所）
中島　康治　（東北大学電気通信研究所）
四方　潤一　（東北大学電気通信研究所）
研究費：物件費５万円，旅費３１万８千円

［2］研究経過

非常に高い感度を持つ超伝導の量子検出器はマイクロ波から可視・近赤外光、X 線、ガンマ線に至る幅広いエネルギー領域の光子検出が可能であり、X 線天文学における衛生搭載用撮像素子、蛍光 X 線分析用エネルギー分散測定装置、放射性同位元素の同定、量子計算機を構成するための要素など、様々な分野に利用できるものとして期待されている。しかしその性能を活用して実用的に利用するためには多数の素子を同時に読み出すことが要求される。極低温で動作する超伝導デバイスの場合は熱流入が素子数を制限する場合が多く、これまで大規模アレイを実現するのが困難だった。

最近注目されているのが超伝導共振器を利用した多素子読み出し技術で、損失が小さくて共振周波数幅の非常に狭い(Q 値が非常に高い)マイクロ波の共振器を多数利用し量子検出器からの信号を狭いマイクロ波の帯域に詰め込むことで１本の読み出し線で多数の素子を同時に読み出せるようになる。この方式を利用した量子検出器は既に様々な分野で提案され、プロトタイプが作成されている。しかし日本での利用は量子ビット、宇宙背景放射の検出などの限られた分野で開発が始まった段階で海外の状況と比較してまだ遅れていると言わざるを得ない。

そこで本プロジェクトでは国内で超伝導共振器による他素子読み出しの開発を始めているグループ、開発に興味を持っている研究者、そして潜在的なユーザーを一堂に集め、情報交換を行うことを目的として研究を行った。

本年度が初年度であった本プロジェクトでは、2010 年 11 月 15 日及び 16 に研究会を開催し、「マイクロ波超伝導共振器とその応用」と「TES カロリーメータ研究の最前線」という 2 つのテーマについて議論した。計 12 件の発表を通じて基礎から応用まで幅広く討論がなされ、改めて研究の方向性を確認するとともに，今後の各メンバーの役割分担を明らかにした。

［3］成果

（３－１）研究成果

本研究の中心主題である High-Q 超伝導共振器の研究は現時点では量子ビットとミリ波/サブミリ波カメラの領域が中心となっており、日本で研究を進めている中から 2 グループからの報告があった。

まず理化学研究所の猪股氏より超伝導量子ビットの分野での応用例の紹介と、理研グループでのデバイス作成、評価について紹介があった。

ミリ波/サブミリ波応用に関しては、国立天文台/東京大学の成瀬氏より、超伝導 High-Q マイクロ波共振器を用いた高感度カメラの開発の現状について紹介があった。国立天文台のグループでは超伝導アルミニウム膜をもちいた共振器を試作し、Q～5 x 10^5 を得ている。さらにサブミリ波レンズアレイを試作し、9 素子カメラの動作を確認した。今後は 1000 素子規模のカメラの開発を進めるという。

ミリ波、サブミリ波と波長の近い分野では、東北大電気通信研究所の四方氏より、表面プラズモンを用いたテラヘルツ領域の共振器構造を利用して、新たなテラヘルツ波検出器・応用システムを開発するという構想について提案があった。これは、可視～赤外・テラヘルツ領域にわたって負誘電性を示す金属材料の構造制御により、所望の波長領域で表面プ

ラズモン共鳴による局所電磁場の増強効果を創出することに基づく。本研究では、これまでに研究開発を行なってきたコヒーレントテラヘルツ波光源システムとその応用について紹介し、本デバイスを用いたテラヘルツ検出器やバイオ・ケミカルセンサー、テラヘルツ顕微鏡システムの構想を議論した。

また超伝導共振器の関連技術として、TES カロリーメータに関する議論も行った。まず宇宙航空研究開発機構の竹井氏より TES カロリーメータのレビューがあった。TES カロリーメータは超伝導金属が超伝導から常伝導に遷移する際の大きな抵抗変化を温度計として利用する光子検出器だが、極低温(～100mK)で動作させるため、多素子化を実現するためにはマルチプレクス読み出しが不可欠である。竹井氏からは宇宙航空研究開発機構をはじめとする世界各国で研究されている TES のマルチプレクス読み出し技術に関する紹介があった。TES でも超伝導 High-Q 共振器を用いた多素子読み出し技術が注目を集め始めており、今後の研究の進展が期待される。

TES カロリーメータの応用例として、科学技術振興機構の辻野氏より光通信での応用実験の紹介があった。次世代の光通信方式であるコヒーレント光信号に関して、信号光を電磁波として受信する従来型受信機では到達できない受信感度を、量子最適受信機であれば達成可能である。しかしその実現ためには、非常に効率の良い光子検出器が必要であった。TES カロリーメータは最も高い光子検出効率を達成している装置であり、TES カロリーメータを用いることで従来型受信機の受信感度を超えることに実験的に成功した。

TES カロリーメータ研究の現状としては他に産業技術総合研究所の福田氏より、主に光通信で用いる近赤外領域、首都大学東京の江副氏より X 線、東京大学の伊豫本氏よりガンマ線用のデバイス開発の報告があった。またエスアイアイ・ナノテクノロジーの田中氏からは TES カロリーメータの製品化に向けた開発について紹介があった。

九州大学の前畑氏より TES カロリーメータとは違う原理で動作する極低温検出器として誘電体マイクロカロリーメータの紹介があった。これは量子常誘電性を有する物質に不純物等を添加することで、100mK 領域において量子常誘電性が破れ、静電容量が温度依存性を示す事を利用する。ここで提案された誘電体マイクロカロリーメータは、入射粒子のエネルギー吸収による温度上昇を、直流バイアス電圧が印加された誘電体温度計の静電容量変化に誘起される電荷量を標準的な電荷収集型前置増幅器で測定する。様々な誘電体試料の静電容量ー温度依存性の測定値等を使用して、エネルギー分解能を予測すると、半値幅で数 eV 程度となり、TES カロリーメータと同等である。またこの方式では誘電体素子に直流バイアス電圧を印加したときの熱雑音およびジュール発熱は無視でき、磁界中でも動作可能であるので、新しい方式の高性能マイクロカロリーメータとして有望である。本研究では温度計の候補となる誘電体試料を紹介し、今後の開発構想を議論した。

これらの超伝導デバイスを制御するための方法として、理化学研究所の宮崎がソフトウェア無線的なアプローチでの機器開発構想の提案を行った。これはマイクロ波を用いた物理実験のエレクトロニクスが GHz 帯の電波を利用する無線通信装置と似通ったハードウェアを用いることによる。この類似性から、柔軟性の高いソフトウェア無線の装置を、大きな変更を加えることなく超伝導共振器を用いたシステムの制御に利用することができる。本研究では既存のソフトウェア無線や類似の物理実験システムを紹介し、本研究の目的に適した実験システムの構想を議論した。

またそれに関連して、(株)ミッシュインターナショナルの高際氏より、FPGA デバイス一般の紹介と最近の技術動向についての講演があった。FPGA デバイスは柔軟にディジタル回路を実現できる技術で、物理実験の分野でも応用例が増え始めている。

（3－2）波及効果と発展性など

全般を通じての第一の効果は、共振器などの超伝導アナログエレクトロニクスを作成/利用するグループ間の交流が深まったことである。今後はデバイスの物理や作成技術に関する交流や、それぞれ得意な分野を持ち寄って共同研究に発展することが期待できる。

また超伝導を利用した高感度なデバイスを開発するグループと、テラヘルツ波の応用を研究しているグループの意見交換を行うことで、将来的な研究協力の可能性が開けた。特に産業やバイオメディカルへの応用などはデバイスの性能が向上することで新しい展望が開けることが期待される。

個別の分野では次のような発展があった。 TES カロリーメータに関しては、多素子化の鍵を握る超伝導エレクトロニクスの開発に関して、宇宙研/産総研/超電導工学研究所の間で協力関係の構築について議論が進みつつある。

本研究で発表された、TES カロリーメータを用いた光通信用量子受信機は、次世代の通信方式であるコヒーレント光信号に対して応用可能であり、2 値変調された信号を受信する場合には従来比で最大 2 倍の受信感度を誇る。信号を多値化した場合、さらに受信感度が高まると予測されている。これらの技術を利用することにより、現在の長距離光通信で使

用されている光増幅器の数を半分以下に減らすことが可能であり、エネルギーコスト、メンテナンスコスト削減につながる。また、光増幅器が使用できない宇宙空間での通信といった分野に応用が期待される。

表面プラズモン共鳴の構造制御については、新たに大阪大学の研究者グループとも共同研究を開始し、新材料・新共振器構造による擬プラズモンの遠方電磁場の制御に関する研究へと発展している。

実験装置の開発に関しては類似のシステムが既に高エネルギー加速器研究機構(KEK)のオープンソースコンソーシアム(OSC)というプロジェクトで構想されているという指摘を受けた。同プロジェクトにコンタクトを取って確認したところ、OSC はより高エネルギー検出に特化したプロジェクトであるが、手を加えて本研究の測定にも使用可能であると判断し、OSC に参加して装置開発を行うことになった。同時に本年度の研究会には参加のなかった KEK の宇宙マイクロ波背景輻射(CMB)観測グループと意見交換を行い、将来的に超伝導共振器を用いた超伝導検出器アレイの開発で協力する可能性があることを確認した。

［4］成果資料

(1) K. Tsujino, D. Fukuda, G. Fujii, S. Inoue, M. Fujiwara, M. Takeoka, and M. Sasaki, "Sub-shot-noise-limit discrimination of on-off keyed coherent signals via a quantum receiver with a superconducting transition edge sensor", Optics Express 18, 8107-8114 (2010).

共同プロジェクト研究

採択回数 ① 2 3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０７

ミリ波応用システム実用化のための課題と展望

［1］組織

代表者：水野 皓司
（東北大学電気通信研究所）
対応者：尾辻 泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石川　容平（京都大学生存圏研究所）
伊東　健治（金沢工業大学工学部）
伊山　義忠（熊本高専）
大平　孝（豊橋技術科学大学）
末松　憲治（東北大学電気通信研究所）
高木　直（東北大学電気通信研究所）
徳満　恒雄（住友電工）
二川　佳央（国士舘大学理工学部）
野本　俊裕（東北工業大学工学部）
橋本　修（青山学院大学理工学部）
松永　誠（三菱プレシジョン）

研究費：物件費０円，旅費 28 万９千円

［2］研究経過

電磁波の応用は、計測、通信、エネルギーの３分野に大別できる。各分野とも従来マイクロ波領域においては、実用レベルの技術が開発され社会に貢献している。しかし、近年、通信における情報量の増加、あるいは新しい計測対象の出現などによって新しいスペクトル領域の実用化が望まれている。新しいスペクトラムとして注目されているのは、ミリ波帯である。よく知られているように、ミリ波帯の実用化はもう数１０年に亘って云われてきており、その技術も年々進歩してきているが、未だ社会に入って我々が日常的に使うものにはなっていない。近年ミリ波デバイスとしては、CMOS が、また応用システムとしては衝突防止用レーダ、あるいは各種の超高速無線 LAN 等の開発が進んでいるが、真の実用化までにはいたっていない。

本研究では、ミリ波技術を真に実用化するために解決すべき課題を抽出し、系統的に整理し、課題解決のためのロードマップまで作成することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であり、ミリ波技術の応用分野を、計測、通信、新分野（含エネルギー）の３分野に分け、それぞれの分野について課題抽出と整理を開始した。計測分野については、計測応用の実例についての調査を開始し、今後の検討対象の明確化を図った。通信分野については、「性能」、「コスト」、「アプリ」の観点で課題抽出を行い、今後は「アプリ」の検討が重要なことを示した。また、新分野については、一例として海中通信を取り上げ議論を行い、今後、さらに詳細な検討が必要との認識を得た。

今年度は１回の研究会を実施した。以下に研究会の実施内容を示す。

＜研究会＞

日時：平成 22 年 11 月５日（金）13：00～

場所：仙台市青葉区片平２丁目

東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン棟 A508 室

出席者（敬称略）：水野、石川、伊東、伊山、大平、末松、高木、徳満、野本

目的：ミリ波応用システムを、計測（含医療）、通信/放送、新分野（含エネルギー）の３分野に分類し、それぞれに関して、市場分野、要求性能、実用化を阻害する課題の洗い出しと整理、課題解決のためのロードマップ、等について議論する。

プログラム：

13：00～13：10「研究会開催にあたって」
水野 皓司（研究代表者）

13：10～14：20「ミリ波の計測分野への応用」
水野 皓司

14：30～15：40「ミリ波実用化に向けた開発指針の検討～通信/放送分野～」
高木 直

15：40～16：50「新分野（含エネルギー）」
石川 容平

20：00～　全員による全体討論、今後の方針打合せ

［3］成果

（３－１）研究成果

ミリ波技術の応用分野を、（1）計測、（2）通信、（3）新分野（含エネルギー）の３分野に分け、それぞれの分野について課題抽出と整理を開始した。以下に得られた成果を示す。

（1）計測（含医療）分野

これまで通信が主な応用と考えられてきたミリ

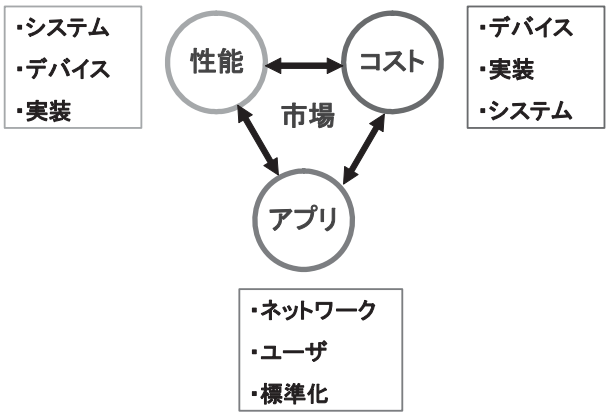
波帯にも、特有な計測分野が存在すると考えられ、最近セキュリティ用のイメージング技術、また新しい車載用レーダなどの開発が注目されている。本研究会では、将来新しい応用分野の開発につなげることを目的に、先ず実際の応用例の調査を行う。2010年度は、ミリ波の計測応用分野を次の項目に分類し、実例について調査を始めた。

・セキュリティ（車載用レーダ、パッシブ・センシング、など）
・環境観測、電波天文（気象レーダ、合成開口レーダ、環境観測用リモートセンシング、など）
・物質の計測（プラズマ計測、木材の計測、果実糖度の計測、物性計測、など）
・電磁環境（EMC）計測
・医用計測（ミリ波の生体への影響も含む）

（2）通信/放送分野

通信/放送分野を主眼として、ミリ波システムの要求性能、実用化を阻害する課題の洗い出しと整理を行い、以下の結論を得た。

・市場は「性能」、「コスト」、「アプリ」で決まり、このうち、「性能」と「コスト」は「システム」、「デバイス」、「実装」の各技術で決まる。



・ミリ波システムの特徴は、長所として（ア）ブロードバンドに適する、（イ）アンテナ寸法がきわめて小さい、短所として、（ウ）通信カバーエリアは小さく、高速移動時のハンドオーバ困難、（エ）高利得（狭ビーム）アンテナが必要、がある。

・従来、ミリ波の実用化を阻害するのは、まず性能、次にコストと考えられてきた。しかし、最近のSiCMOS技術の進展および低コスト実装技術の進展により、性能、コスト的には本格的なミリ波実用化のすぐ手前まできている。

・今後は、ミリ波の上記特徴を生かしたアプリ開発が重要。アプリは、他システムも含めたネットワーク化が重要。ネットワーク化のためには、標準化動向を踏まえることも必要。

・情報通信は、エネルギー、環境、食料、文化、安全・安心、産業・技術の全ての要（頭脳と神経）であるといえる。今後さらに、上記観点で、開発ロードマップ作成のための深掘りをしていく必要がある。

（3）新分野（含エネルギー）

情報通信、放送のカバーする領域は宇宙、航空、陸上を前提として研究が行われてきた。ＧＰＳや地上デジタル放送、携帯電話、無線ＬＡＮ等、それぞれ極めて有用で大きな成果を上げてきた。特に携帯電話は全世界で４０億人のマーケットに急速な勢いで浸透しつつある。一方で海洋は宇宙よりも身近な人間圏であり、その利用形態も急速に拡大しつつある。ウランやレアメタルを始め資源の宝庫であると同時に海洋バイオマスを用いた再生可能エネルギー生産や養殖技術等を用いて途上国の人口爆発に備えた食糧確保の研究活動が既に始まっている。これら資源、エネルギー、食料を考えると海洋は極めて重要な機能を備えていることが理解できる。またわが国のＥＥＺ（排他的経済水域）は世界第６位であり海洋の有効利用がわが国の経済にとって極めて重要であることは言うまでもない。しかしながら海洋（海中）通信の技術は極めて原始的な状況にとどまっている。超音波ソナーを用いた通信が殆ど唯一の通信手段であるが速度が 1500m/秒と遅くまた波風が雑音になるくらい通信速度も限られ、海洋開発を進めるには現在のその技術レベルは要求からは程遠いと言わざるを得ない。また超音波は海洋生物の通信手段や海洋動物の多様性の維持に大きな障害をもたらしているという説もある。我々は海中の電気通信や電力伝送に焦点を当て２１世紀のわが国の戦略的海洋開発の必須条件である海洋電気通信技術の可能性調査にまず取り組みたい。ターゲットは“携帯電話とインターネットを海中にまで”である。さらにその先には電気潜水艇（海中電気自動車）への非接触電力伝送を目指す。

2010 年度は強い吸収体である海水の電波吸収性について調査し通常の電磁波は 100ｋHz ですでに約 100db/m の強い減衰を示す知見を得た。今後は強い遮断域にある電磁波の導電率の高い海水中での振る舞いを検討していく。開放系の非放射系の電磁界の構成には、遮断周波数が構造パラメタに比べて極めて低い伝送路を検討する。これによってMHｚ以下の非放射電磁界空間（セル）の構成が容易になるものと思われる。海中は都市雑音がなく高い変調指数が得られるものと期待することができる。Ｓ／Ｎに優れた海中電磁波空間に対するシミュレーターを用いた見通し付けを次年度以降の目標とする。

（３－２）波及効果と発展性など

ミリ波技術は、これまで各所で研究されてきてい

るが、なかなか本格的な実用化にいたらなかった。本プロジェクトでは、ミリ波応用システムを、計測、通信、新分野（含エネルギー）に分類して、それぞれについて、課題抽出、整理を開始した。今後、この結果を踏まえて、ミリ波実用化を阻害している要因を浮き彫りするとともに課題解決のためのロードマップを提示することにより、ミリ波応用システムの実用化に対する指針を示すことが出来ると考える。

［4］成果資料

（１）K. Mizuno, "millimeter-Wave Imaging through a Flame and Smoke, " IEEE International Microwave Symposium, WFC-11, Anaheim, CA, June 2010.

（2）水野皓司, "人を守る電波センシング技術について," 計測技術, Vol.38, No.12, pp.1-5, 2010年11月.

（3）石川 容平, "(招待論文)磁気ヨーク型トランスにおける電力伝送のマイクロ波的アプローチ, " 電子情報通信学会論文誌 (C), Vol.J93-C, No.12, pp.549-556 (2010-12).

（4）高木 直, 吉田 賢史, 亀田 卓, 末松 憲治, 坪内 和夫, "有機樹脂基板を用いた60GHz帯アンテナ一体3次元SiPフロントエンドモジュール," 電気学会「ミリ波信号処理の技術と科学」調査専門委員会, 2010年10月.

（5）吉田賢史, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内和夫, "有機樹脂基板を用いた 60 GHz 帯超小型WPANモジュール用アンテナの基礎的検討, " 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J93-B No.6 pp.822-831 June 2010.

（6）Yoshida Satoshi, Kameda Suguru, Takagi Tadashi, Tsubouchi Kazuo, "Radiation Characteristics of a Planar Monopole Antenna Integrated with a 60GHz Band WPAN Module Using Organic Substrates, " 4th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2010, C33P1-5, April 2010.

（7）S. Tomita, N. Tran, Y. Miyake, K. Komatsu, H. Oguma, N. Izuka, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Influence of Hand Tremor for 60-GHz-Band Broadband Wireless Communication Terminal Based on Advanced Kiosk Model, " 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), FR1C-1, Yokohama, Dec. 2010.

（8）T. Ohira, "Extended Adler's injection locked Q factor formula for general one- and two-port active device oscillators," IEICE Electronics Express, vol. 7, issue 19, pp.1486-1492, Oct. 2010.

（9）T. Wuren and T. Ohira, "Active Q factor analysis for non-uniform microstrip stub Colpitts FET oscillators," IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Special Section on Analog Circuit Techniques and Related Topics, vol. E94-A, issue 2, pp.583-591, Feb. 2011.

（１０）K. Tsukashima, M. Kubota, O. Baba, H. Tango, A. Yonamine, T. Tokumitsu, and Y. Hasegawa,"Cost effective wafer level chip size package technology and application to the next generation automotive radar," in the 40th European Microwave Conference Proc., Paris, pp. 280-283.

（１１）S. Fujita, M. Imagawa, T. Sato, T. Tokumitsu, and Y. Hasegawa, "Cost effective, mass productive wafer-level chip size package (WLCSP) technology applied to Ku-band frequency converters," the 2010 Asia-Pacific Microwave Conference Proc., Yokohama, pp. 1212-1215.

（１２）Shinya Watanabe, Masaki Karakawa, and Osamu Hashimoto, "Computer Simulation of Temperature Distribution of Frozen Material Heated in Microwave Oven," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.58, No.5, pp.1196-1204 (2010-5).

（１３）Jumpei Yamamoto, Takenori Yasuzumi, Tomoki Uwano, and Osamu Hashimoto, "A Study on Compact Wide Bandpass Filter Using Inter-digital Resonator," IEICE Transactions on Electronics, Vol.E93-C, No.7, pp.1132-1134 (2010-7).

（１４）Shohei Hasegawa, Takenori Yasuzumi, Tomoki Uwano, and Osamu Hashimoto, "A Study and Design of LPF Using Hairpin Structual Circuit and Chip Capacitor," IEICE Transactions on Electronics, Vol.E93-C, No.7, pp.1135-1137 (2010-7).

（１５）中村浩人, 橋本 修, "多層カーボンナノチューブ含有抵抗シートを用いた電波吸収体 に関する研究," 電子情報通信学会論文誌(C), Vol.J93-C, No.10, pp.371-373 (2010-10).

共同プロジェクト研究

採択回数　①　２　３

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０８

生命にとっての情報・推論・計算の解明と工学的応用の検討

［１］組織

代表者：浦上　大輔
（東京工科大学コンピュータサイエンス学部）

対応者：笹井　一人
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
太田　宏之
（防衛医科大学校生理学講座）
高橋　達二
（東京電機大学理工学部情報システムデザイン学系）
西川 麻樹
（理化学研究所揺律機能研究チーム）
青野 真士
（理化学研究所基幹研究所）
上浦　基
（東京理科大学理工学部経営工学科）
澤　宏司
（日本女子大学附属高等学校）
脇坂　崇平
（理化学研究所脳科学総合研究センター）

研究費：物件費０円，旅費１６万１千円

［２］研究経過

人間と環境を調和させる情報システムに関する研究･開発は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは，生物由来の情報処理方法を解明し、その工学的応用の可能性を検討することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。本プロジェクト開始以前より，本プロジェクトメンバーによる研究会を定期的に行い，「実環境に置かれた人間にとって，情報化過程を内在させた情報」が重要であるということが明らかになった。そこで，本年度は，この成果を踏まえながら，人間を含む生命における情報処理，推論・計算方法に関する研究を展開した。

H22 年度のプロジェクト研究会の開催実績は下記のとおりである。

場所：　東北大学電気通信研究所
開催日時：　2010 年 10 月 16 日 13:00-18:00
発表者と発表タイトル：

青野真士　（理化学研究所）
「Beyond Self-Organization: Correlated Parallel Search」
高橋達二　（東京電機大学）
「記号操作を下支えする認知の対称化過程」
上浦基　（東京理科大学）
「アブダクティブ推論と適応制御」
浦上大輔　（東京工科大学）
「運動学習制御と分散表現」
太田宏之　（防衛医科大学校）
「海馬 CA3-CA1 ネットワークにおける逆行的可塑性」
笹井一人（東北大学）
「ソフトウェアロボットによる自立型ネットワークに向けて」
脇坂崇平（理化学研究所）
「"Reality Blindness（現実盲）"とその応用可能性について」

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，人間における因果推論の傾向性，“認知バイアス”が，学習効率を高めるということが，高橋によって報告された（成果資料7－9，12，13）。ここでいう認知バイアスとは，「pならばq」から「qならばp」を推論するといった傾向性のことで，対称性バイアスと呼ばれる。この推論は論理的には必ずしも正しくはないのだが，実環境においては概ね正しい場合を多くある。対称性バイアスを定量的にモデル化したもの1つが，LSモデルはある。本研究プロジェクトでは，LSモデルによって意思決定を行うエージェントが，n本腕バンディッド問題や言語学習において，高いパフォーマンスを示すということが，シミュレーションにより確認された。また，類似の計算方法を，粘菌を計算素子としたコンピュータで実装した結果について，青野が報告した（成果資料10，11，14，15）。

第2に，少数の事例から仮説を形成する推論、“アブダクション”がシステムの頑健性に寄与しているということが，上浦によって報告された（成果資料5，6）。アブダクションは仮説形成とも訳され，演繹，帰納に対する第3の推論である。アブダクションも通常の論理的な推論ではないのでが，人間の思考過程では大きな役割を果たす。本研究プロジェクトでは，自己回帰モデルにアブダクティブなパラメータ推定を盛り込んだモデルが，自然界で多くみられるべき分布の極めてシンプルなモデルとなることが確認された。また、その神経生理学的な根拠について、太田が報告した。

第3に，より工学に近い立場から，「情報化を内在した情報」を念頭に，それぞれの研究分野と関連して報告した（成果資料1，2，16，17）。浦上は，ロボットの運動学習について，上記のLSモデルが応用可能であろうと報告した。笹井は，ソフトウェアロボットによる自立型ネットワークを実現するためには，ソフトウェアロボットがより積極的な推論をする必要があると論じた。脇坂は，人間の頭部の動きに連動した映像表示システムを開発し，被験者にアブダクティブな推論を誘導するような認知実験が可能であると提案した。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，灘研究連絡会と連動して活動することにより，多様な専門分野の研究者の交流が飛躍的に活性化した。灘研究連絡会の本年度の活動は次の通りである。

第12回灘連関東部会
場所：青山学院アスタジオ
開催日時：2010年11月20日14:00-18:00
発表タイトル：
「内部観測理論の源流： 自律構造変化モデルについて」上浦 基（東京理科大）
「物質から現れる現在進行形」松野 孝一郎 （長岡科技大）

第13回灘連関東部会
場所：青山学院アスタジオ
開催日時：2011年1月22日14:00-18:00
発表者とタイトル：
「ラカンと内部観測」中野 昌宏（青山学院大）
「リフレ派VS日銀擁護派－貨幣の本質をめぐる仁義なき戦い－」井上 智洋（早稲田大）

また、本プロジェクトの成果を広く発表することを目的の1つした下記の研究会を計画していたが，東日本大震災の影響を考慮して延期となった。しかるべき時期に，場所を東北大学に変更して開催することが，復興支援にもつながって良いのではと，現段階では慎重に検討している。

第5回内部観測研究会
場所： 東京理科大学
開催日時： 2011年3月12日―13日
発表件数： 約30件

灘研究連絡会では，観測対象と観測者の分離を前提としない科学理論，内部観測理論をキーワードとして多様な専門分野の研究者が交流をおこなっている。本プロジェクトでは，「人間と環境を調和させる情報システムの創成」とテーマを受けて研究，意見交換を行った結果，生命，特に人における非論理的な推論の工学的な応用可能性について意見の一致が見られた。本プロジェクトで明らかになった成果は，内部観測理論の工学的応用という新しい研究領域の開拓に結びつき，今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

（1）Kazuto Sasai, Naoyuki Tanji, Yusuke Takahashi, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “An Architecture of Extended Network Management System: Autonomous Cooperation between Knowledge Resources and Network Equipments”, Proc. 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, pp. 617-622, 2010.

（2）Daisuke Uragami, Hiroyuki Ohta, Tatsuji Takahasi, “Lattice Neural Networks for Incremental Learning”, International Journal of Computing Anticipatory Systems, VOLUMES 23-24-25, ISSN 1373-5411, 2011(in press).

（3）Sawa, K., Gunji, Y.-P., “An emergence of formal logic induced by an internal agent”, FIS 2010: Fourth International Conference on the Foundations of Information Science: Towards a new science of information, Beijing, China, 21-24 August 2010.

（4）Sawa, K., Gunji, Y.-P., 2010. Dynamical Logic Driven by Classified Inferences Including Abduction. AIP Conf. Proc. 1303, COMPUTING ANTICIPATORY SYSTEMS: CASYS `09: Ninth International Conference on Computing Anticipatory Systems. 52-59.

（5）Kamiura, M., “Implication of Abduction: Complexity without Organized Interaction”, American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings, Vol.1303, pp.60-67, 2010.

（6）Moto Kamiura, Abduction as Incomplete Parameter Estimation. triple C - Cognition, Communication, Co-operation(in press).

（7）Takahashi,T., Nakano, M., and Shinohara, S., “Cognitive Symmetries: Illogical but Rational Biases”, Symmetry: Culture and Science, 21, 1-3, 275-294, 2010.

（8）Takahashi, T., Shinohara, S., Oyo, K., and Nishikawa, A., “Cognitive Symmetries as Bases for Anticipation: a Model of Vygotskyan Development Applied to Word Learning”, International Journal of Computing Anticipatory Systems, vol. 24, 2011 (to appear).

（9）Takahashi, T., Kohno Y., and Oyo, K., Causal Induction Heuristics as Proportion of Assumed-to-be Rare Instances (pARIs). In Proceedings of the 7th International Conference on Cognitive Science (ICCS2010), 361-362, 2010.

（10）M. Aono, Y. Hirata, M. Hara, K. Aihara, “A model of amoeba-based neurocomputer”, Journal of Computer Chemistry, Japan 9, 143-156, 2010.

（11）M. Aono, Y. Hirata, M. Hara, K. Aihara, "Greedy versus Social: Resource-competing oscillator network as a model of amoeba-based neurocomputer," Natural Computing (in press).

（12）大用庫智，高橋達二，因果推論と意思決定を結ぶ緩い対称モデル，日本認知科学会第 27 回大会発表論文集, 799-800, 2010.

（13）甲野祐，高橋達二，因果帰納の調和対称ヒューリスティクス，日本認知科学会第 27 回大会発表論文集, 43-46, 2010.

（14）青野 真士，“真正粘菌コンピュータと資源総量保存型振動子ネットワークによる並列探索”，屋久島非線形問題若手ワークショップ～非線形科学と情報通信科学のフロンティア開拓～，屋久島，鹿児島, 2010 年 11 月. (招待講演)

（15）青野 真士, "真性粘菌コンピューティング," 分子ロボティクス研究会 7 月定例会，東京，日本, 2010 年 7 月. (招待講演)

（16）福田遼，松尾芳樹，浦上大輔，関口暁宣，制動作業における予測到達時間微分値の視覚提示効果，第 11 回計測自動制御学会ＳＩ部門講演会，1F2-2，2010.

（17）浦上大輔，太田宏之，西田育弘，再帰型ニューラルネットワークによる時系列データの追加学習，第 24 回人工知能学会全国大会，2D1-2，2010.

共同プロジェクト研究

採択回数　①　2　3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ０９

物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究

［1］代表者：岡嶋　克典
（横浜国立大学）
対応者：栗木　一郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者（５０音順）：
内川惠二（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
北岡　明佳（立命館大学文学部心理学専攻）
鯉田　孝和（豊橋技術科学大学）
郷田　直一（自然科学研究機構生理学研究所）
小松　英彦（自然科学研究機構生理学研究所）
篠森　敬三（高知工科大学工学部）
徳永　留美（東北大学電気通信研究所）
辻村　誠一（鹿児島大学工学部）
中内　茂樹（豊橋技術科学大学）
仲泊　聡　（国立障害者ﾘﾊﾋﾞﾘﾃｰｼｮﾝｾﾝﾀｰ病院）
西田　眞也（ＮＴＴ－ＣＳ研）
本吉　勇　（ＮＴＴ－ＣＳ研）
増田　修　（三重大学，現ミンホ大・ポルトガル）
溝上　陽子（千葉大学大学院融合科学研究科）
矢口　博久（千葉大学大学院融合科学研究科）
山内　泰樹（山形大学大学院理工学研究科）

研究費：物件費０円，旅費３５万８千円

［2］研究経過

ICT 技術によりコミュニケーションが行われる際に，情報が的確に伝達される事は重要な要素技術であると考えられる．電子商取引などの場面において，質感や色の情報が的確に伝えられる事は社会的にも要請の高い重要技術である．一方，観察対象を物体として同定・認識することは人間の視覚情報処理機構の本質的な目的の一つである．質感や色は物体の同定において特に重要であり，人間はこれらの情報を視覚的に取得して物体を同定する作業を日常的に行っている．本研究では，物体表面の属性に関する様々な研究を行っている第一線の視覚研究者や，当該分野で著明な業績を上げている関連研究者などが一堂に会して研究会を行うことにより，物体表面の属性（質感・色など）を視覚的に取得する情報処理に関する知見を結集・共有することを目的とする．

質感を伝えるのに重要な役割を果たしている視覚情報のプロファイルが明らかになれば，映像情報通信システムの仕様を確立する際に，適正な物体表面の特性（質感や色）の伝達に必須な仕様の目標設定が可能になる．さらに，質感や色の知覚において重要とされる視覚情報の特徴を明らかにする事により，脳内における視覚情報の構造が明らかにとなり，視覚情報の効率的な記述方法が明らかになる事も成果として期待できる．

将来的には，本研究会を通して明らかにされた問題点をターゲットとして，人間が視覚的に物体表面の質感や色に関する情報を得るメカニズムについて調べる共同研究への実質的な発展を目指す．

初年度の研究会においては，質感や色などの物体表面の特徴に関する視覚的情報処理の研究分野におけるホットトピックを探る目的で，研究者同士の意見交換を目的とした研究会を行った．

以下の概要で研究会を開き，各研究者の研究状況の報告およびその内容に関する詳細な検討を行った．

期日：平成 22 年 12 月 3 日(金)～12 月 4 日(土)
場所：東北大学電気通信研究所
プログラム：

１．ノイズ中のコントラスト変調検出における空間的平均化：永井岳大(豊橋技科大)，Donald. I.A. MacLeod (U.C., San Diego)
２．メラノプシン神経節細胞の明るさ知覚への寄与：辻村誠一(鹿児島大)
３．半透明な表面の知覚：本吉　勇(NTT-CS研)
４．自然風景中の色表面の輝度バランスが色恒常性に与える効果：内川惠二・福田一帆(東工大)
５．サルの下側頭皮質における光沢選択的なニューロン活動：小松英彦・西尾亜希子・郷田直一(生理学研究所)
５．自然画像における彩度順応：溝上陽子(千葉大)
６．連続フラッシュ刺激を伴う場合の色恒常性：栗木一郎・堀内孝治(東北大)

また，平成 23 年２月に部分メンバーにより第二回の研究会を開き，質感や色覚メカニズムに関する研究報告ならびに意見交換を行った．

期日：平成 23 年 2 月 3 日(金)
場所：東北大学電気通信研究所

題目：
1．色の見えの個人差について：山内泰樹（山形大）
2．肌年齢の知覚特性とそのメカニズム：岡嶋克典（横浜国大）
3．脳内の色情報表現・fMRI 研究：栗木一郎（東北大）

［3］成果
（3－1）研究成果
本年度に行った研究会の報告内容については以下の通りである．

【平成 22 年度 第 1 回研究会】

第 1 回の研究会は，出席者から研究成果の報告をしてもらい，質感・色覚に関する研究テーマの中で本質的に未解明な問題を明らかにし，出席者全員でそれらに関する知識を共有する事を目的に行われた．

辻村は，視覚研究の主対象だった錐体・桿体以外に光感受性を持つ神経細胞として注目されているメラノプシン網膜神経節細胞（MRGC）に関する研究を報告した．錐体・桿体とは独立に MRGC のみを刺激する装置を作成して行った瞳孔反応について報告がなされた．少なくとも瞳孔反応に関わる神経回路にメラノプシンが何らかの影響を及ぼしている事は明らかにされたが，色覚への影響については明らかにはされなかった．

永井は，輝度パタンのコントラストを検出するメカニズムの受容野サイズに関する研究について報告を行った．先行研究では，輝度コントラストの大きさに伴って受容野サイズが変化すると報告されている．このような空間的統合がどのように生じるかをランダムノイズ下でコントラスト変調を検出する課題を用いて検討した．その結果，ノイズ付加により直交方向かつ高空間周波数の変調に対しもっとも顕著に検出感度が低下したことから，視覚系が刺激の S/N によって受容野サイズを適応的に変化させていることが示唆される結果を得た．

本吉は視覚的な半透明感（translucency）を与える画像特徴について分析した研究を報告した．ＣＧシミュレーションによって作成した物体表面で光が浸透・散乱する層の深さを変化させていった場合，段階的な translucency の増大が報告されたが，浸透層の深さを固定した上で，その下層の透過率を変化させた場合にはさらに translucency が増大するという報告が得られた．一方，画像の中のハイライト（光輝点）と陰影の位置関係が translucency の知覚に強く影響していることが示唆される結果が得られ，単なる画像の空間周波数や表面反射特性だけではなく，位相（文脈）が強く影響している事が報告された．

内川らは，視野に分布する色・輝度の関連が照明光の推定（色恒常性）に与える影響について調べた実験を報告した．自発光しない物体表面は 100%以上の反射率を持つ事は無く，100%反射率の理想的物体が持つ色・輝度の包絡面は optimal color と呼ばれている．Optimal color の分布は照明光の影響を受けるため，視野中の色輝度分布と optimal color の対比により，照明光情報が推定可能ではないかと推測される．視野の色・輝度を 6 色に限定した場合の被験者の照明光知覚を測定した結果，optimal color 包絡面の手がかりを与えると予想される刺激の色度・輝度の操作に伴い，被験者の照明光知覚が変化する事を示唆する結果が得られた．

小松らはサルの下側頭皮質における，質感に選択的に反応すると見られる細胞群の発見に関する報告を行った．鏡面反射成分・拡散反射成分・鏡面反射のボケ量をパラメータとして作成したＣＧ画像を視覚刺激とした際の，神経細胞の画像選択性を分析した結果，人間の主観では金属感・プラスチックらしさ・光沢感の有無に対応すると思われる軸に分類されるパタンが見られ，個々の細胞における選択性は画像に提示される物体の形状や照明条件に関して変化しない事が報告された．ただし，これらの選択性がどのような情報処理によって画像から抽出されているかについては，さらなる研究が必要である．

溝上は視野における色や輝度の多様性（色域）に対する視覚系の適応性に関する研究報告を行った．色コントラスト・輝度コントラストを操作した実空間画像に順応した際に，見かけの色コントラストが低下・上昇する色域効果について，心理物理実験を行った．その結果，輝度コントラストが色域効果に影響を与えない事を示唆する結果を示した．

栗木らは，物体表面の色が照明光の影響を受けにくい色恒常性現象において，周辺に存在する色・輝度の手がかりを知覚抑制した場合について心理物理的に行った実験について報告した．連続フラッシュ抑制（CFS）刺激は，もう片眼の網膜上に呈示した周辺刺激を知覚しにくくする．周辺手がかりに多色図形が用いられた場合，CFS による抑制効果は非常に大きいのに対し，色・輝度一様の周辺刺激の効果は CFS でほとんど抑制されなかった．この結果は，視野内の色・輝度の統計量を抽出するプロセスが少なくとも両眼の情報を統合する脳内レベル以降において処理されていることを示唆する．

【平成 22 年度 第 2 回研究会】

山内は，LED と積分球による簡易な単色光生成装置を用い，視覚の基本である分光感度（等色関数）の個人差に関する検討を行った結果について報告した．狭帯域の単色光を用いて測定された等色関数と比べ，若干の精度低下が生じるのは否めず，空間変調 MEMS 光学素子（DMD）を用いた光学系による研究への期待が報告された．

岡嶋は，特定の３波長でのちらつき検査結果に対し，眼球内の既知の光学要素（水晶体，黄斑色素，錐体）の分光特性をフィッティングする方法で個人の分光感度推定を試みた．また，肌画像から年齢を推定する実験の結果と高い相関をもつ画像要因について，画像処理的に抽出できる要因に関する検討を行った結果について報告した．

栗木は，脳活動パタンの分類解析により，脳内の色情報の表現形が赤／緑と青／黄の４要素の合成ではない可能性を指摘する結果を得た事について報告した．順応実験も分類解析を補強する結果を得たことが報告された．

【まとめ】

２回の研究会において報告されたテーマは多岐にわたったが，基本的に２つの大きな問題の存在が浮かび上がってきた．１つは情報表現の基盤に関する問題（光受容器，等色関数，脳内情報表現，等），もう１つは空間的に分布する情報の相互作用に関する問題（質感，恒常性，色域効果，等）である．

前者は視覚情報の定式化や情報処理過程の記述において重要な要素（感度・表現形）であるのに対し，後者は人間がセンシングの結果として受け取りたい情報（色・質感）と対応した重要な要素である．

次年度の研究会ではこれらの研究の中に問題の本質に迫る要因が発見できないか，討論を通じてその分析を試みたい．

（３－２）波及効果と発展性など

ICT 技術により，現在人間が行っている様々な作業シーンにおける情報取得や情報処理の自動化，ICT 機器による代替が進む事が予想され，それに伴って人間と同様な感度特性を持つ（＝人間が感じているのと同じような画像情報を得られる）画像センサやカメラは今後ますます需要が高まると考えられる．色域効果に関する研究は，多様な環境において視覚系が適応し感度を調節するメカニズムを解明する事に繋がると考えられる．

将来このような知見の応用分野となりうる分野として，失われた視覚を人工的に回復する人工視覚技術がある．そこで人工視覚に関するシンポジウムを日本視覚学会・冬季大会で企画・開催したが，人工的な信号により自然視覚と同等の視覚を実現する必要に迫られるには５～10 年単位の時間が掛かるとの感触を得た．

［４］成果資料

本研究会に関連する研究報告は以下の通りである．

[1] 堀内孝治・栗木一郎・松宮一道・塩入　諭 : 色の見えに関する空間的文脈効果における視覚的気づきの影響. *VISION*, **22**(4), 203-206, 2010

[2] Kuriki I., Nakamura S., Sun P., Ueno K., Matsumiya K., Tanaka K., Shinoiri S.,& Cheng K. Decoding color responses in human visual cortex. *IEICE* E, **94**-A, 2011.

[3] Tsujimura S, Ukai K, Ohama D, Nuruki A, Yunokuchi K. Contribution of human melanopsin retinal ganglion cells to steady-state pupil responses. *Proc Biol Sci.* **277**:2485-92, 2010.

[4] Motoyoshi, I.. Highlight-shading relationship as a cue for the perception of translucent and transparent materials. *Journal of Vision*, **10**(9): 6, 1-11, 2010.

共同プロジェクト研究

採択回数 ① 2 3

課題番号　Ｈ２２／Ｂ１０

論理学的手法に基くプログラム検証技術

［1］組織
代表者：佐藤 雅彦
（京都大学大学院情報学研究科）
対応者：外山 芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
五十嵐 淳
（京都大学大学院情報学研究科）
中澤 巧爾
（京都大学大学院情報学研究科）
亀山 幸義
（筑波大学システム情報工学研究科）
桜井 貴文（千葉大学理学部）

研究費：物件費 33,456 円，旅費 282,250 円

［2］研究経過

本プロジェクトの目的

論理と計算の間の密接な関係性により，論理学と計算機科学は互いに影響を及ぼしながら発展している．とくに，プログラムの安全性・信頼性を保障するための検証技法の研究においては，数理論理学において発展した型理論や項書換えの理論のアイディアが盛んに利用され，大きな役割を果たしている．

本研究では，論理学的な手法を用いてプログラムの意味を明らかにし，とくにプログラム検証のための理論を構築し，それに基づいたプログラム検証手法を提案・実装することを目的とする．

研究会の開催状況

本プロジェクトは本年度が初年度であった．上記目的達成のため，一回のプロジェクト研究会を開催し，活発な議論を通して，論理学の立場，計算論の立場，さらにこれらを統合した型理論の立場からプログラミング言語の本質を追及し，プログラム検証技術への応用について検討した．

プロジェクト研究会は，平成22年11月11日から12 日に東北大学電気通信研究所において，本研究参加の研究者，通研の研究者に加えて国立情報学研究所の木村大輔研究員を招き開催され，最新の研究結果の紹介とプロジェクトの成果報告が行なわれた．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た．

1．数学を形式的に記述する枠組について考察した．基本になる考えは，数学の形式化に必要な数学は有限の立場のもとでの数学で十分であるということである．したがって，理論上は，PRA（原始帰納的算術）の上で形式化できることがゲーデル等により知られている．しかし実際に計算機上で実現するためにはPRA は不適当である．そこで，クラス概念に基づき，「第一種の数学的対象」を帰納的に構成する方法を提示した．

2. 並行プロセスなどの形式的モデルである両方向ペトリネットの到達可能性の自動検証法を検討し，書き換えシステムの完備化に基づいた自動検証システムを実装した．さらに、多くの例題をもちいた実験結果から，本システムが高速な自動検証に適していることを明らかにした．

3. プログラムの制御構造を表現するコントロールオペレータ，特に限定継続コントロールオペレータについて研究を行った．従来，プログラム言語の観点からの研究は主として値呼び方式を採用していたが，論理学の観点からの研究は，名前呼び方式の体系に対するものが多く，両者の研究が分離されていた．今年度の研究では，両者を融合し，対応付けや相互比較を容易にすることを目的として，名前呼び方式のもとで限定継続コントロールオペレータを含むプログラム言語をモデル化し，それに対する検証規則を同定した．得られた検証規則群は，我々が従来獲得していた値呼び方式に対する検証規則群と一定の対応がつくこと，また，検証規則として必要十分(健全かつ完全)であることを示した．

4. 項書き換えに基づくプログラム検証法の 1 つとして帰納的定理の自動証明がある．帰納的定理の自動証明法である書き換え帰納法においては，定理自動証明を成功させるために，適切な補題を導入する必要のある場合が多い．しかしながら，候補となる補題の正しさが保証されていない場合には，補題の導入が証明手続きの流れを複雑にしてしまう欠点があった．そこで，複数の証明プロセスを独立に動作させるための枠組みを形式化した．これにより，異なる複数の補題を独立に導入することが可能になり，補題の正しさが保証されていない場合にも見通しのよい動作が可能となった．

5. プログラムに埋め込まれたアサーション情報を型として捉える型システムの研究を行った．先行研究である Flanagan らによって定式化された λHに対し，二階の型を導入することで，抽象データ型に対するアサーションを取り扱うことが可能になった．技術的には，先行研究の定式化を簡略化することによる，単純な構文的型健全性の証明，構文的論理関係によるパラメトリシティ，部分型関係に基づくアサーション除去という最適化の正当性証明を行った．

6. 共通部分型と再帰型の両方をもつラムダ計算の意味論に関する研究を行った．共通部分型とは，型を集合として解釈したときに集合の共通部分に相当する型であり，強正規化可能性の特徴づけなど古くから研究が行われている．また再帰型は，自然数やリストなどがもつ再帰的な構造を表現する型である．共通部分型と再帰型の両方をもつラムダ計算についてはD∞モデルにイデアルの概念を導入することで健全な意味論を構成できることがMacQueen, Plotkin, Sethiらにより指摘されているが,完全性については触れられていなかった．また，共通部分型のみをもつラムダ計算についてD∞モデルを抽象化したλモデルを用いた健全かつ完全な意味論の構成方法がBarendregt, Coppo, Dezaniらにより与えられている．本研究では共通部分型と再帰型の両方をもつラムダ計算の健全かつ完全な意味論の構成を目標とし，λモデルにイデアルの概念を導入した意味論の構成法を考察した．

7. 自然演繹古典論理に対応するラムダ･ミュー計算の拡張としてSaurinによって提案された計算体系は,限定継続コントロールオペレータの名前呼び体系やストリーム計算との対応が指摘されている．Saurinはさらにこの体系の理論的な基礎を明らかにするために，ラムダ計算におけるベーム木の拡張となる無限木構造によるラムダ・ミュー項の解釈を与えている.本研究では，一般の無限木に対して，その木があるラムダ・ミュー項を表現するための必要充分条件を与えた．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では，プログラムの本質を追究することによって，より信頼性の高いプログラム開発のための検証技術を実現することを目標に，論理学的な手法，とくに証明論的な立場からプログラミング言語に関する基礎的な研究を行なっている．証明論のように構文的対象を直接扱う構成的な手法に基くアプローチは，計算機上での実現が比較的容易であると考えられ，実際にいくつかのシステムが実装されている．これらの結果により，より実用的なプログラム検証システムへの応用が期待できる．

また，本プロジェクトの活発な交流を通して形成された，複数の大学の多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは，今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成する基盤となることが期待される．

［4］成果資料

[1] Masahiko Sato, Randy Pollack. External and internal syntax of the lambda-calculus. Journal of Symbolic Computation, vol. 45, 598—616, 2010.

[2] Takahito Aoto. Automated confluence proof by decreasing diagrams based on rule-labelling. In Proceedings of the 21st International Conference on Rewriting Techniques and Applications, LIPIcs, Vol.6, pp.7-16, 2010.

[3] Yuki Chiba, Takahito Aoto, and Yoshihito Toyama. Program transformation templates for tupling based on term rewriting. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E93-D, No.5, pp.963-973, 2010.

[4] Yukiyoshi Kameyama and Asami Tanaka. Equational Axiomatization of Call-by-Name Delimited Control. Proc. 12th ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practics of Declarative Programming (PPDP 2010), pp. 77-86, Jul. 2010.

[5] Cynthia Kustanto and Yukiyoshi Kameyama. Improving Error Messages in Type System, IPSJ Transactions on Programming, Vol. 3, No. 4, pp. 43—56, 2010.

[6] João Filipe Belo, Michael Greenberg, Atsushi Igarashi, and Benjamin C. Pierce. Polymorphic Contracts. In Proceedings of European Symposium on Programming (ESOP2011), pp.18-37, March, 2011.

共同プロジェクト研究

採択回数 ① 2 3

採択番号　Ｈ２２／Ｂ１１

民生用合成開口レーダシステムの開発と応用

［1］組織

代表者：間瀬　　淳
（九州大学産学連携センター）
対応者：八坂　　洋
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
犬竹　正明（東北大学電気通信研究所）
池地　弘行（九州大学産学連携センター）
佐藤　源之（東北大学東北アジア研究ｾﾝﾀｰ）
渡邊　　学（東北大学東北アジア研究ｾﾝﾀｰ）
横田　裕也（東北大学東北アジア研究ｾﾝﾀｰ）
近木祐一郎（福岡工業大学電子情報工学科）
山口　芳雄（新潟大学工学部）
木村　　宏（岐阜大学工学部）
森山　敏文（長崎大学工学部）
服部　邦彦（日本工業大学）
浦塚　清峰（情報通信研究機構: NICT）
降旗　正忠（財）資源探査用観測ｼｽﾃﾑ・宇宙環境利用研究開発機構：JAROS）
金井　　宏（無人宇宙実験システム研究開発機構: USEF）
島田　政信（宇宙航空研究開発機構: JAXA）
冨尾　　武（宇宙航空研究開発機構: JAXA）
伊藤　直樹（九州日立マクセル(株)）
加茂　圭介（富士重工業(株) 宇都宮製作所）
牧野　　滋（三菱電機(株) 開発本部）
原　　芳久（三菱電機(株) 鎌倉製作所）
村田　　稔（日本電気(株) 誘導光電事業部）
辻　　信行（ツジ電子(株)）
川上　春夫（アンテナ技研(株)）
小木曽　賢（アンテナ技研(株)）
酒井　文則（サクラテック(株)）
熊谷　秀夫（多摩川精機(株)）
村手　直明（中日本航空(株)）
能美　　仁（アルエットテクノロジー(株)）
米澤　千夏（東北大学大学院農学研究科）
齋藤　元也（東北大学大学院農学研究科）
澤谷　邦男（東北大学大学院工学研究科）
多田　順次（東北大学電気通信研究所）
水野　皓司（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 5 万円，旅費 31.5 万円

［2］研究経過

本研究は、高分解かつ小型軽量の航空機搭載合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムの開発・製作および性能評価を効率よく推進していくことを目的としている。特に、要素技術としてのハードウエアおよびソフトウエアの開発とともに、同技術を組み合わせた先進 SAR システムの製作とその実用化試験を実現するための検討を進めるものである。

具体的には、SAR システム技術に関する研究会、および SAR システムの民生応用に関する検討会を通じて、①現在製作中の SAR システムの情報交換と開発方針、②安心安全社会構築のための航空機等搭載型 SAR リモートセンシングデータの利用システム検討、および新しい民生応用分野の開拓を行っていくことである。以下，研究活動状況の概要を記す。

１）東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2010：平成 22 年 12 月 1 日、学術総合センターにて開催、ポスター展示。

２）SAR 共同研究検討会―航空機搭載に関して：平成 23 年 2 月 1 日 13:00-16:00、富士重工業㈱ 宇都宮製作所にて実施、出席者 12 名。

３）平成 22 年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究会」（IEEE Geoscience and Remote Sensing Society 協賛）：平成 23 年 2 月 2 日 13:00-17:30、電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室にて開催、参加者 55 名。

４）次年度 SAR 設計開発検討会：平成 23 年 2 月 3 日 10:00-15:00、東北大学電気通信研究所 1 号館 N 棟 308 講義室にて実施、出席者 13 名。

５）第 149 回 KASTEC セミナーおよび SAR ソフトウエア検討会：平成 23 年 2 月 7 日 14:00-19:00、九州大学産学連携センター3 階研修室にて実施、参加者 25 名。

［3］成果

（3－1）研究成果

各研究活動において得られた成果を記述する。

１）東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2010：本プロジェクトに関連し、犬竹により「合成開口レーダの高性能化と民生応用」のパネル展示がなされた。

２）SAR 共同研究検討会：本プロジェクトで開発中の SAR システムの航空機等搭載に関して検討を進めた。

３）平成 22 年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究会」：平成 22 年度の内容は、ｉ）自然災害

時の初動対応、ii）航空機搭載SARシステムの適用事例、iii）航空機搭載高分解SARの開発・製作の現状、iv）SARデータの解析、v）最近のトピックス、に大別することができる。それぞれの主な内容を概述する。

i）宮川（国土交通省）が「大規模自然災害時における航空機搭載SARへの期待」について報告した。大規模災害では、広域・甚大な被害が想定され、人命救助の観点から災害発生直後の広範囲に及ぶ被害状況の把握が重要な課題とされている。平成7年の兵庫県南部地震、阪神・淡路大震災において初動対応の遅れが指摘されたことを踏まえ、情報収集・伝達体制の確立、災害対応要員の確保等により態勢の強化が図られてきたことが述べられた。国土交通省は、災害の拡大防止、二次災害の防止、緊急輸送ルートの確保等の役割を担うとともに、所管施設・社会資本・交通に関する被害状況と復旧の見込みなどの情報の収集・提供を行っており、平成20年4月には、緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）を創設し、社会基盤施設の早期復旧、二次災害の防止等にあたる地方公共団体を支援する体制をとっている。平成21年度から、河川技術研究開発制度によってSARを利用した防災情報把握に関する研究開発が進められていることが話された。

ii）島田（JAXA）は「航空機搭載L-band合成開口レーダ“Pi-SAR-L”の機能と水域災害監視事例」について発表した。JAXAのLバンド多偏波航空機搭載合成開口レーダ（Pi-SAR-L）は、ポラリメトリック機能を有する高分解・低雑音のSARであり1996年に竣工、2007年11月にゼロドップラ機能とリピートパス干渉機能を付加し、現在の形態に発展した我国の先駆的な航空機SARである。飛行中のフライト軌跡の補正、ポラリメトリック校正法の新規開発が進められ、2000年以降、緊急災害や将来衛星（利用）開発 を目的とした実証飛行に組み込まれ、本格運用されている。代表例として、a）2000年有珠山噴火、大島陥没、山古志村の災害観測、b）リピートパス干渉フライトによる硫黄島の隆起観測、 c）水域検出実験などを報告した。また、Pi-SARの開発と観測履歴、動揺補正の要点、干渉処理事例、水域検出事例についての紹介があった。

高岸（(株)パスコ）は、「小型・軽量のX-band航空機搭載型SARを用いた浸水域等の把握」について報告した。高岸等は、水害等発生時の浸水範囲の把握に特化した実用性の高い小型・軽量・低電力の航空機SARについて、その撮影技術や画像解析処理による浸水範囲、浸水深の準リアルタイム把握に関する技術研究開発を行っている。航空機搭載SARの機能面（水域等の抽出能力）からみた設計要件は、X-band、空間分解能1m、HH偏波とし、運用面からみた設計要件は、機体改修不要、製造、運用に関するコストの縮減、SAR搭載に掛かる時間短縮（30分以内）、総重量（45 kg以下）、低電力（10 w）とした。また、実飛行による試験にて機上でのリアルタイム表示処理を実現した。浸水域の抽出は既存の標高データ（10 mメッシュ標高）を使用し、浸水深は、レーザプロファイラのDEMデータとの組み合わせによる方法を開発したとの報告もなされた。本システムは、平成20年8月に発生した愛知豪雨時のTerraSAR-X画像にて検証されている。

岩本（三菱電機(株)）が、「航空機搭載 SARによる移動目標検出の実験結果」について発表した。SARは昼夜、天候を問わず観測が可能な画像センサであり、その特性から災害時等の緊急性の高い観測に有効であるとされている。また、受信波の位相を利用して、光学センサにはないアプリケーションを実現することも可能である。その一つに位相情報を利用して高い感度で目標を検出する技術がある。Ku帯の航空機搭載SARを用い位相情報を利用した移動目標の検出実験を行った結果、陸上を走行する車両と、海上を航行する船舶の検出に国内で初めて成功したこと、検出した目標の速度を計測し、実際に測定した速度と良く一致することを確認したとの報告がなされた。

iii）犬竹（東北大学）は「航空機搭載 Ku-bandリアルタイム画像レーダ “Live SAR”のハードウェア開発」について発表した。平成21年度から始まった国土交通省プロジェクトの開発目標は、高空間分解（10 cm）、小型軽量（25kg）で、機上におけるリアルタイム画像生成が可能なスポットライトSAR（呼称 ”Live SAR”）を開発することである。システムは有人・無人の航空機・ヘリコプタに搭載可能で、大規模水害等の自然災害時の河川・道路・鉄道・電力・港湾の施設等の防災監視や救助活動の初動対応に威力が発揮されること、航空機搭載SARの局所性・緊急性・高頻度性などが強調された。平成21-22年度中に開発された、高精度遅延電子回路系、送受信アンテナ回路系、GPS-慣性センサー（IMU）付き広角度スキャンジンバル等のハードウェアの成果についての報告があった。

池地（九州大学）は、「航空機搭載 Ku-band リアルタイム画像生成 “Live SAR” のソフトウェア設計概念」の題名で、“Live SAR” の実用化にあたって使いやすく柔軟性のあるソフトウェア設計に関する新概念 “SAR Tools” について報告した。

iv）佐藤（東北大学）は、「ポラリメトリによるSAR画像の判別」について発表した。単一偏波を利用した従来のレーダセンサに比べ、ポラリメトリ機能を有したポラリメトリック・レーダは装置が複雑になる以上に、圧倒的な情報量の増加が見込めること、ポラリメトリックSARに限らず、電波の偏波情報を利用するレーダ・ポラリメトリ技術は単純に対象物からの反射電波の大きさを測るだけでなく、反射電波に含まれる情報に特徴を持つことなどを説明した。さらに、佐藤等がSAR 研究と並行して進めている地中レーダについ

て、レーダ・ポーラリメトリ情報を用いることで、物体の形状を見る事無く、物体の性状評価が可能となること、航空機搭載、衛星搭載 SAR の補完システムとしての地表設定型 SAR（GB-SAR）へのレーダ・ポラリメトリの応用による、土壌水分評価および樹木の評価などについて報告した。

ｖ）千葉（アジア航測総合研究所）は、「赤色立体地図表示による二次元地形画像の微細判読」について報告した。航空機搭載 LiDAR による数値標高モデル（DEM）の地形表現法「赤色立体地図」について、従来手法との比較を行いつつ、作成原理の解説を行った。まず、陰影では方向依存性や凹凸逆転問題があること、等高線法は平坦面や急斜面の表現ができない点を指摘した。「赤色立体地図」は、尾根谷度を明度に比例させた画像と、急斜面ほどより赤くなるように調整した斜度図を合成して作成する。結果的に CG 環境光と類似した表現となり、予想外の立体感が生じ、人間の網膜の構造からも赤色が微地形把握に最適と指摘した。地形表現事例として、火山、活断層、湖底地形が、国土地理院の数値地図や NASA-SRTM3、NOAA-Etopo2 等の大きなサイズの作製例を紹介した。

４）次年度 SAR 設計開発検討会：本検討会では、“Live SAR” ハードウエア完成後の試験方法について、また、“Live SAR”に適用する制御ソフトウエア、画像解析ソフトウエアの設計方針についての討論が行なわれた。

５）第 149 回 KASTEC セミナー／SAR 検討会：「フーリエ変換によるイメージング」（講演者：池地）についてのセミナーが九州大学産学連携センターにて開催された。医学や工学の分野で活躍しているイメージング技術を対象に、画像再構成の原理と実際について説明があった。画像生成の殆どはフーリエ変換によって行なわれていることを、光学写真、磁気共鳴イメージング、フェーズドアレイ、合成開口レーダ、ソノグラム、ホログラフィーなどを例にとって説明した。

（３－２）波及効果と発展性など

１）本プロジェクトにより、SAR 研究に関連し、全国的な規模でのネットワークの拡大、特に、民生用を中心とした応用分野の広がり、産学連携など新しい観点に基づいたネットワーク構築を図ることができた。

２）プロジェクト研究の主目標の一つである、スポットライト方式 SAR システムの開発では、国土交通省委託研究（代表者：犬竹）による SAR システムの開発が進められている（平成 22 年度ハードウエア完成予定）。

３）民生用合成開口レーダシステムの応用分野や種々の要素技術の開発に基づいて、横断形プロジェクトの形成や産官学連携の発展が進んでいる。

［４］成果資料

(1) Y. Yokota, A. Mase *et al.*, “Reconstruction method of X-mode ultrashort-pulse reflectometry in LHD”, J. Phys. Conf. Ser. **227**, 012034 (2010).

(2) H. Hojo and A. Mase, “Effects of Plasma Resonance on Surface Waves in Axially Non-Uniform Plasmas”, Plasma Fusion Res. **5**, 006 (2010).

(3) Y. Yokota, A. Mase, M. Sato et al., “Ultra-Wide-Band Radar Reflectometer for Density Pofile Measurement of High Temperature Plasmas”, Proc. 13th Int. Conf. Ground Penetrating Radar, Lecce (Jun. 2010).

(4) A. Mase, D. Nagae, N. Ito, and Y. Komada: “Non-contact and non-invasive stress evaluation using microwave reflectometry”, Proc. Int. Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications, Sydney (Sept. 2010).

(5) D. Zhang and A. Mase, “Multi-Objective Experiment using Ultrashort-Pulse Radar System for Breast Cancer Detection”, Proc. 35th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave, (Sept. 2010) Th-P10

(6) D. Nagae and A. Mase, “Measurement of heart rate variability and stress evaluation by using microwave reflectometric vital signal sensing”, Rev. Sci. Instrum. **81**, 094301 (2010); Virtual J. of Biolog. Phys. Res. **20**, 6 (2010).

(7) S. Kusano, M. Watanabe, M. Sato, “A new decomposition applied to azimuthally inclined objects”, The 123rd Soc. of Exploration Geophys. of Japan Conf., Miyagi (Sep. 2010).

(8) N. Ito, A. Mase *et al.*, “Development of Millimeter-Wave Planar Antennas Using Low-Loss Materials”, Japan. J. Appl. Phys. **49**, 106506 (2010).

(9) S. H. Jeong, K. D. Lee, Y. Kogi *et al.*, “Electron cyclotron emission diagnostics on KSTAR tokamak”, Rev. Sci. Instrum. **81**, 10D922 (2010).

(10) Y. Kogi, S. H. Jeong *et al.*, M. Kwon, and K.,Kawahata: “Calibration of electron cyclotron emission radiometer for KSTAR”, Rev. Sci. Instrum. **81**, 10D916 (2010).

(11) S.-W. Chen and M. Sato: “A Novel Method for Polarimetric SAR Image Speckle Filtering and Edge Detection”, The 4th Joint PI Symp. of ALOS Data Nodes for ALOS Science Program, Tokyo (Nov 2010) pp. 55.

(12) S. Kusano, M. Watanabe, M. Sato, “Proposal of a new algorithm of the three-component decomposition for azimuthally inclined objects,” ALOS Pi Symp., Tokyo (2010).

(13) 間瀬　淳、長江大輔「信号ピーク測定システム」特開 2010-286268.

(14) D. Zhang and A. Mase, “A Formula for Fourier Series Expansion Method with Complex Coordinate Streching Layers”, J. Infrared Milli. Terahz Waves **32**, 196 (2011).

(15) 犬竹正明、池地弘行、間瀬　淳、近木祐一郎、佐藤源之：レーザレーダ装置およびレーザ合成開口レーダ装置」特願 2011-015915.

(16) 間瀬　淳、長江大輔：「被験体状態解析用信号のピーク周波数測定システム」PCT/JP2011/053028.

(17) 間瀬　淳、伊藤直樹、坂田栄二、嶋津博士、駒田寛：「生体情報検出システム」特願 2011-39954.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	2	(3)

採択番号　Ｈ２０／Ｓ０１

スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発

［1］組織

代表者：三村　秀典（静岡大学電子工学研究所）
対応者：鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
分担者：青木　　徹（静岡大学電子工学研究所）
根尾陽一郎（静岡大学電子工学研究所）
川人　祥二（静岡大学電子工学研究所）
伊藤　真也（静岡大学電子工学研究所）
原　　和彦（静岡大学電子工学研究所）
小南　裕子（静岡大学電子工学研究所）
猪川　　洋（静岡大学電子工学研究所）
佐藤　弘明（静岡大学電子工学研究所）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
塩入　　諭（東北大学電気通信研究所）
伊藤　崇之（ＮＨＫ放送技術研究所）
江上　典文（ＮＨＫ放送技術研究所）
岡本　信治（ＮＨＫ放送技術研究所）
大竹　　浩（ＮＨＫ放送技術研究所）
林　　直人（ＮＨＫ放送技術研究所）
渡辺　　馨（ＮＨＫ放送技術研究所）
江本　正喜（ＮＨＫ放送技術研究所）

研究費：

［2］研究経過

スーパーハイビジョン(SHV)は将来のテレビジョンシステムで, 走査線数4320本の超高精細映像と三次元マルチチャンネル音響で構成され，ハイビジョンの 16 倍の超高精細映像で極めて高い臨場感が得られることを特徴とする。本研究では，東北大学，静岡大学および NHK の研究グループが研究共同体を形成し, NHK が実現を目指しているこのスーパーハイビジョンプロジェクトを実現するために必要なスーパーハイビジョンの基盤となるデバイス，および，映像音響およびストレージサブシステム，視聴覚品質評価などの要素技術を開発することを目的として研究を行う。
そのために各研究グループが以下の達成を目標として研究を行っている。

【静岡大学電子工学研究所】
川人研究室:「スーパーハイビジョン用ＣＭＯＳイメージセンサの研究」
三村研究室:「スーパーハイビジョンディスプレイおよびスーパーハイビジョンHARP用収束電極付微小電子源の形成」
原　研究室:「スーパーハイビジョンディスプレイ対応新規蛍光体の合成」
猪川研究室:「単電子カウンティング光検出器の研究」

【東北大学電気通信研究所】
鈴木研究室:「スーパーハイビジョン聴覚ディスプレイサブシステム構成法の研究」
村岡研究室:「スーパーハイビジョンストレージサブシステム構成法の研究」
塩入研究室:「スーパーハイビジョン映像評価法の研究」

【ＮＨＫ放送技術研究所】
撮像・記録デバイス研究部：スーパーハイビジョン用に超高精細と高フレームレートとを両立した CMOS イメージセンサの実現に向けて A/D 変換器の高速化・高精度化を図るとともに、スーパーハイビジョン用ストレージの要求条件・課題を明らかにし、システム案を示す。
表示・機能素子研究部：スーパーハイビジョン用ディスプレイに必要な、超高精細化に適した蛍光薄膜の特性改善を進める。
テレビ方式研究部：スーパーハイビジョンの 22.2ch 音響を家庭で楽しむ一つの方法である聴覚ディスプレイの設計に必要なパラメーターを主観評価実験研究により提案する。
人間・情報科学研究部：スーパーハイビジョン映像評価法確立のために、SHV 観視では周辺視野特性が重要であることに着目して、SHV の誘目度地図作成、視線移動測定を行う。

本プロジェクトは研究成果の披露，進捗状況の把握および今後の展開に向けて，以下に示すような成果報告，研究打ち合わせを数回に亘って行った。

1．静岡大学電子工学研究所主催：「第 12 回高柳健次郎記念シンポジウム」Session 5 Super Hi-Vision Project “Development of Essential Technologies for Super Hi-Vision”においてプロジェクトの成果の一端を発表した。

日　時：2010年11月19日（金）
場　所：静岡大学浜松キャンパス
　　佐鳴会館会議室
出席者：静岡大学　三村，川人，原，猪川，
　　中西
　　東北大学　鈴木
　　ＮＨＫ　　菅原
内　容：
(1) 本プロジェクト研究の代表者である三村教授が，プロジェクト研究の概要を説明した。
(2) 菅原主任研究員により，スーパーハイビジョンシステムにおける視覚体験と信号標準との関係についての研究紹介が行われた。
(3) 鈴木教授により高い定位知覚を実現するための３次元聴覚ディスプレイについての研究紹介が行われた。
(4) 川人教授により高速・高解像度CMOSイメージセンサ実現のための研究の現状が紹介され，オンチップアナログ－デジタル変換器(ADC)が高速CMOSイメージセン実現のキーとなる要素であることが紹介された。

２．東北大学電気通信研究所主催：「共同研究プロジェクト研究発表会 2010」セッション１　「情報社会を支えるシステムとソフトウェアにおいてプロジェクトの成果を発表した。
日　時：2010年12月1日（水）
場　所：学術総合センター
出席者：静岡大学　三村，川人，中西
　　東北大学　鈴木，村岡，塩入
　　ＮＨＫ　　江本
内　容：
(1) 三村教授から，本プロジェクト研究の概要が紹介された。
(2) 広視野映像における画像に対する注意の機序や視線との関係と言った誘目性に関する研究が江本主任研究員によって紹介された。
(3) 鈴木教授により，マルチチャネル音響の聴覚ディスプレイへの変換という観点からの22.2ch音響の家庭への応用展開に向けた開発の現状について説明が行われた。
(4) 川人教授により，スーパーハイビジョンにおける高解像度と高フレーム速度を両立したCMOSイメージセンサを実現するためのA/D変換回路として，カラム並列変換型について説明がなされた。
(5) 村岡教授により，スーパーハイビジョンのような巨大情報量を支えるための情報ストレージの高密度大容量化技術の現状について説明が行われた。
(6) 塩入教授はセッション３「人間と環境を調和させる情報システム」において，視覚世界の安定性について，神経学的基礎理論に基づいて説明が行われた。

３．研究打ち合わせ
日　時：2011年2月2日（水）
場　所：NHK放送技術研究所
出席者：静岡大学　三村，中西
　　東北大学　鈴木
　　NHK　　八木，斉藤
内　容：
Ⅰ．第1期の共同プロジェクト研究は今年度で終了することになるが，次年度からも第2期としてこれまでと同じ研究内容で継続することを確認した。
Ⅱ．第1期の順調な研究の進展を背景に，本第2期では更に進んだ要素技術の研究開発に取り組むこととした。さらにこれらに加え，この第2期では，スーパーハイビジョンの更なる高性能化を目指し，今後，必要とされる要素技術について，それらの研究の方向性や可能性を探るための研究討論を行ってゆく。具体的には，以上のメンバーに留まらず，ＮＨＫ放送技術研究所，東北大学電気通信研究所，静岡大学電子工学研究所の参画3組織における他の関連研究者と，他の関連組織の研究者に参加を呼びかけ，年に一度程度，テーマを決めて研究討論会を開催してゆくことを目指すこととした。

［3］成果

（３－１）研究成果

本共同プロジェクト研究を推進するにあたり，初年度のキックオフミーティング，研究会議において設定されたサブプロジェクトの今年度の研究計画に基づいて研究を展開した。それぞれのサブプロジェクトの研究成果は下記の通りである。

【静岡大学・川人教授－NHK・大竹主研】

超高精細高フレームレート撮像素子のA/D変換アーキテクチャとして、２段サイクリック方式を提案し、スーパーハイビジョン用超高精細高フレームレート評価用撮像素子の設計･試作を行った。回路シミュレーションにより，従来よりも大幅な低消費電力化が図られる可能性を見出すことができた。次年度、試作センサの詳細な評価を行う。

【静岡大学・三村教授】

SHVディスプレイやSHV用HARPでは，電子

ビームを集束でき。かつ放出電流量が減少しない電界放出微小電子源の開発が重要である。平成22年度は，２段、４段、５段の多段ゲート構造の新型微小電子源の試作を行い，放出電流の減少を伴わない電子集束を可能にした。

【静岡大学・原　教授－NHK・岡本主研】

ディスプレイの高精細化に向けた$SrGa_2S_4$:Eu薄膜の低温作製について、結晶学的な評価に熱伝導解析を組み合わせることにより、レーザ照射による結晶化過程を明らかにした。また、表示色域の拡大に向けては、$ZnAl_2O_4$:Mn高色純度緑色蛍光体を、バックライト用白色発光LEDへ応用するための基礎データとして、励起特性を明らかにした。

【静岡大学・猪川教授】

SOI MOSFET 単一フォトン検出器の改善により、室温にてダークカウント0.02 cps以下、最大カウントレート400 cps、量子効率1.3％（波長400 nm）を達成し、同時入射フォトンの数を分解する能力を示唆する結果を得た。RF信号の反射を利用して MOSFET 単電子検出器の高速化を試み、8 MHzの電荷信号に対して3.3×10^{-3} e/√Hzの感度を得た。

【東北大学・鈴木教授－NHK・渡辺主研，安藤主研】

スーパーハイビジョン用22.2チャネルスピーカーアレイで音空間をさらに忠実に再現できるように，高次アンビソニック等の他の音空間再現技術との融合を検討する．また，家庭内で手軽にヘッドホンで音空間を享受できるよう，2 チャネル聴覚ディスプレイ用信号としてミックスダウンするための聴取者適用技術についても検討する．

【東北大学・村岡教授－NHK・林主研】

スーパーハイビジョン映像は 72Gbps に達する超高速転送レートを有しているので単位時間当たり極めて大きな記録容量を必要であり、そのストレージ技術には解決すべき課題が多い。超転送速度に対応できるストレージの実現を目指し、入出力を並列構成して転送レートと記録容量を同時に満たすHDDシステムを検討した。

【東北大学・塩入教授－NHK・江本主研】

広視野映像を評価するために，観察者の視線移動を測定するとともに，周辺視機能を考慮した注意モデルを開発した。それによって視野サイズに応じた視機能に基づく、誘目度の計算を実現することができることを示した。観察者の視線によるモデルの評価手法についても検討した。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究がスーパーハイビジョンの開発を支援することにより，NHKが2020年以降に実用化を目指す SHV による放送サービスの実現に寄与するとともに，静大電研，東北大通研共に，NHK という公的機関を通じた社会貢献という形で，将来の画像技術に対して多大なる貢献ができ，またそれが画像技術コミュニティーに広く認められる。SHV 技術は，放送技術改革にとどまらず，サイエンス，医療，バイオ，福祉等に改革をもたらすビッグ技術に確実に発達するものと考えられる。現時点から，SHV 技術を支援しておくことは，今後国家プロジェクト等のビッグプロジェクト獲得につながる可能性が高い。

［4］成果資料

- K. Yasutomi, S. Itoh and S. Kawahito, “A Two-Stage Charge Transfer Active Pixel CMOS Image Sensor with Low-Noise Global Shuttering and a Dual-Shuttering Mode,”, IEEE Trans. Electron Devices, **58**[3], pp.740-747 (2011).
- A. Koike, T. Tagami, Y. Takagi, M. Nagao, T. Yoshida, T. Aoki Y. Neo, and H. Mimura, “Emission and focusing characteristics of a quintuple-gated field emitter array”, Appl. Phys. Express. in press
- A. Koike, Y. Neo, H. Mimura, M. Nagao, T. Yoshida, H. Murata, and K. Sakai, “A multi-gated FEA for low energy acceleration micro-column microscopes”, 23th Int. Vac. Nanoelectronics Conf., (PaloAlto, USA, 2010) pp.98-99.
- T. Yamasaki, T. Seino, H. Kominami, Y. Nakanishi, Y. Hatanaka and K. Hara, “Preparation of Rare-Earth Doped $SrGa_2S_4$ Thin Film Phosphors by Two Electron Beams Evaporation and 355 nm Laser-Annealing“, Proc. 17th Int. Display Workshops, p.1053 (2010).
- T. Nagura, H. Kominami, Y. Nakanishi and K. Hara, ”Photoluminescence property of $ZnAl_2O_4$:Mn chromatic pure green phosphors”, J. Inst. Electrical Eng. Jpn. **131** (2011) in press.
- V. Singh, H. Inokawa, T. Endoh, and H. Satoh, “Fabrication Method of Sub-100 nm Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor with Thick Gate Oxide,” Jpn. J. Appl. Phys., **49**[12], pp. 128002-1~2, (2010).
- W. Du, H. Inokawa and H. Satoh, "Room-Temperature Number-Resolving Single-Photon Detection by SOI MOSFET," 2010 Int. Conf. Solid State Devices and Materials (SSDM) P-9-14L pp. 493-494 (Tokyo, 2010).
- S. J. Greaves, T. Mizuno, and H. Muraoka, “Transition Formation in Heat-Assisted Magnetic Recording,” J. Magn. Soc. Jpn., **34**[2], pp. 49-52 (2010).
- S. Greaves, Y. Kanai and H. Muraoka, “Shingled Magnetic Recording on Bit Patterned Media,” IEEE Trans. Magn., **46**[6], pp. 1460-1463 (2010).
- S. Takahashi, T. Ishikawa, Y. Hyodo, I. Ohashi, Y. Shimpuku, K. Matsubara, K. Matsumiya and S. Shioiri: “Control of subjective depth on 3-D displays by a quantified monocular depth cue”, Journal of the SID 19/1, 1-8, 2011.

共同プロジェクト研究

課題番号　Ｈ２０／Ｓ０２

採択回数	1　2　③

スピントロニクス連携ネットワーク

［1］組織

代表者：伊藤　公平
（慶應義塾大学理工学部）
対応者：大野　英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
江藤　幹雄（慶應義塾大学理工学部）
斎木　敏治（慶應義塾大学理工学部）
枝松　圭一（東北大学電気通信研究所）
白井　正文（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
村岡　裕明（東北大学電気通信研究所）
池田　正二（東北大学電気通信研究所）
大野　裕三（東北大学電気通信研究所）
小坂　英男（東北大学電気通信研究所）
島津　武仁（東北大学電気通信研究所）
板倉　文礼（東北大学電気通信研究所）
平山　祥郎（東北大学理学研究科）
安藤　康夫（東北大学工学研究科）
佐橋　政司（東北大学工学研究科）
高橋　　研（東北大学工学研究科）
新田　淳作（東北大学工学研究科）
角田　匡清（東北大学工学研究科）
土井　正晶（東北大学工学研究科）
高梨　弘毅（東北大学金属材料研究所）
前川　禎通（東北大学金属材料研究所）
齋藤　英治（東北大学金属材料研究所）
遠藤　哲郎（東北大学学際科学国際高等研究センター）
川崎　雅司（東北大学原子分子材料科学高等研究センター）
宮崎　照宣（東北大学原子分子材料科学高等研究センター）
吉田　　博（大阪大学基礎工学研究科）
鈴木　義茂（大阪大学基礎工学研究科）
木村　　剛（大阪大学基礎工学研究科）
草部　浩一（大阪大学基礎工学研究科）
佐藤　和則（大阪大学基礎工学研究科）
河野　　浩（大阪大学基礎工学研究科）
白石　誠司（大阪大学基礎工学研究科）

研究費：　物件費・旅費　300 万円

［2］研究経過

スピントロニクス（Spintronics）とは、物質の電気特性と磁気特性の双方を制御することにより得られる新しい物理現象の探求とそれを利用した、エレクトロニクス・マグネティクス・フォトニクスといった電子・情報通信産業のイノベーションを創成する学術分野である。

スピントロニクス分野の発展に対する我が国の科学者・工学者の寄与は極めて大きい。材料とナノテクノロジーに力点をおいた日本の基幹研究が、スピントロニクス展開をリードしてきた。トンネル現象などの量子力学的効果を顕在化するためには、我が国が得意とするナノテクノロジーや材料技術が不可欠であるからである。最近では量子力学的なナノスケールのスピントロニクス現象が実際のデバイスに用いられるところまで分野は進展している。また基礎的な面では、スピン流などを取り入れて古典電磁気学を更に発展させる展開も繰り広げられている。

産業界からの注目も高い。微細化（ムーアの法則）のみに頼る手法では半導体産業の発展が限界を迎える現在、世界的に最も影響力が強い「国際半導体技術ロードマップ(International Technology Roadmap for Semiconductors、通常略してITRS)」は10年後の電子・情報通信産業の発展を支える重点技術の有力候補としてスピントロニクスを明記している。これを受けて、米国ではインターネットなどの戦略的開発支援で有名なDARPAがスピントロニクス分野でプロジェクトを発足させた。我が国においても総合科学技術会議が革新的技術戦略に取り上げて技術立国のためのリーダーシップとプライオリティーを確保することが重要かつ緊急であることを強調している。すなわち、基礎科学的興味と産業界のニーズが発展を促し、さらにそれらが協調的に発展をとげている科学技術革新分野がスピントロニクスである。

我が国における電気工学と磁気工学の歴史は、個々の分野としては長いものの、「電気と磁気の交わり」であるスピントロニクスが顕在化したのは最近である。科学研究費補助金の枠組みでは、半導体スピントロニクス重点・特定領域が2件、金属スピントロニクス重点領域が1件過去に実施された。現在では、それらの発展形である半導体・金属スピントロニクス協調型特定領域が進行中であり、大学を中心とした学術機関の研究交流が活発化している。

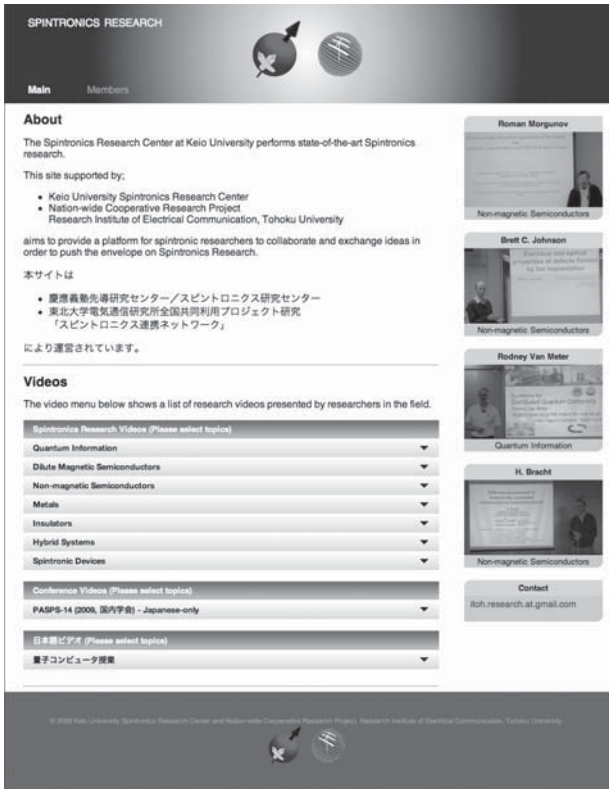


図１　Spintronics Research Net のホームページ

しかし、基礎研究のさらなる深化とそれが産業イノベーションに密接に係わる現在、参加研究者が限定された科研費やその他の競争的研究資金の枠組みを超えて、国公私立大学の先端的学術成果、共同利用・共同研究拠点としての附置研のリソース、さらには産業界のイノベーションニーズを統合した、組織間連携をベースとする全国の研究者に門戸の開かれたスピントロニクス連携研究ネットワークを構築することが研究者のコミュニティーから求められている。

そこで本プロジェクトでは、組織間連携に基づくスピントロニクス連携研究ネットワークを構築し、基礎研究を一層充実させると共に、産業イノベーションまでの幅広いスピントロニクス研究を格段に推進した。

［３］成果

平成２０年度に開始した本事業では、スピントロニクス研究の３大要素（基礎物性、材料・素子開発、材料・素子デザイン）を核としたネットワーク構築を進めている。基礎物性ネットワークの中心を慶應大学、材料・素子開発ネットワークの中心を東北大学、材料・素子デザインの中心を大阪大学に設置し、この３校が糊となって全国の研究機関をつなげている。特に慶應義塾大学に設置された慶應義塾先導研究センター「スピントロニクス研究センター」は本スピントロニクス連携のコアになると同時に、関東ノードのコアとして関東周辺のスピントロニクス研究者の研究交流・情報交換の場を提供する基盤を整えた。

具体的な研究成果は[４]成果資料の（学術論文）に示す通りであるが、平成２２年度は特に連携ネットワークの拡大に注力し、図１に示す日英両言語で開設した日英両言語に基づくウェブページ Spintronics Research Net (http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintronics/) には全国 13 機関、計 53 名のメンバーの研究室紹介ビデオを掲載するまで発展させた。海外の研究者による最新の研究成果発表ビデオも 20 件以上掲載された。そこでは最新の研究成果の講演（１時間程度の解説講演と１５分程度の学会講演）をカテゴライズして聴講できるようにもした。スピントロニクス分野に関連した講義ビデオの掲載も増やし、世界中からネットを通して本分野の基礎が学べるようにした。さらにはスピントロニクス連携ネットワークのメンバー研究室を平易に紹介する４分間程度のビデオを日本と英語で作製し、本ホームページから閲覧できるようにした。このビデオの内容は理工系学部３・４年生が理解できるレベルを目指したため、結果として、当該分野への興味を広く一般において高めるとともに、スピントロニクスに興味をもつ企業からも分かりやすいと好評である。研究成果と研究内容の一般への公開という観点からビデオはとても効果的である。

また本年度の主要活動の一つが The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology: Spintech6 の準備であった。Spintech6 は、隔年開催で欧米亜持ち回りの国際会議であり、その誘致に通研共同研究プロジェクト S「スピントロニクス連携ネットワーク」が成功した。Spintech6 の開催は 2011 年 8 月である。議長は本研究代表者の伊藤と東北大通研・大野裕三、プログラム委員長は東北大金研・齊藤英治であり、本スピントロニクス連携ネットワークが主体的に誘致と準備を担っている。その結果として Spintech6 のウェブページ (http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/spintech6/home/index.html)に示す通り、スピントロニクス分野の世界オールスターがスクール講師およびカンファレンス招待講演者として集まるプログラムの構築に成功した。

[４]成果資料

（学術論文）

1)　Y. Shimizu, Y. Kawamura, M. Uematsu, M. Tomita, T. Kinno, N. Okada, M. Kato, H. Uchida, M. Takahashi,

H. Ito, H. Ishikawa, Y. Ohji, H. Takamizawa, Y. Nagai, and K. M. Itoh, "Depth and Lateral Resolution of Laser-Assisted Atom Probe Microscopy of Silicon Revealed by Isotopic Heterostructures," J. Appl. Phys. **109**, 036102 (2011).

2) S. Simmons, R. M. Brown, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, H.-J. Pohl, M. L. W. Thewalt, K. M. Itoh, and J. J. L. Morton, "Entanglement in a Solid-State Spin Ensemble," Nature **470**, 69-72 (2011).

3) H. Morishita, E. Abe, W. Akhtar, L. S. Vlasenko, A. Fujimoto, K. Sawano, Y. Shiraki, L. Dreher, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, H.-J. Pohl, M. L. W. Thewalt, M. S. Brandt, and K. M. Itoh, "Linewidth of Low-Field Electrically Detected Magnetic Resonance of Phosphorus in Isotopically Controlled Silicon," Applied Physics Express, **4**, 021302 (2011).

4) O. Moutanabbir, D. Isheim, D. N. Seidman, Y. Kawamura, and K. M. Itoh, "Ultraviolet-Laser Atom-Probe Tomographic Three-Dimensional Atom-by-Atom Mapping of Isotopically Modulated Si Nanoscopic Layers," Appl. Phys. Lett. **98**, 013111 (2011).

5) M. R. Rahman, T. Itahashi, M. P. Vlasenko, L. S. Vlasenko, E. E. Haller, and K. M. Itoh, "Dynamic Nuclear Polarization of ^{29}Si Nuclei Induced by Li and Li–O Centers in Silicon," Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 103001 (2010).

6) H. Wu, R. E. George, J. H. Wesenberg, K. Mølmer, D. I. Schuster, R. J. Schoelkopf, K. M. Itoh, A. Ardavan, J. J. L. Morton, and G. A. D. Briggs, "Storage of Multiple Coherent Microwave Excitations in an Electron Spin Ensemble," Phys. Rev. Lett. **105**, 14053 (2010).

7) A. R. Stegner, H. Tezuka, T. Andlauer, M. Stutzmann, M. L. W. Thewalt, M. S. Brandt, and K. M. Itoh, "Isotope Effect on Electron Paramagnetic Resonance of Boron Acceptors in Siliconm," Phys. Rev. B **82**, 115213 (2010).

8) E. Abe, A. M. Tyryshkin, S. Tojo, J. J. L. Morton, W. M. Witzel, A. Fujimoto, J. W. Ager, E. E. Haller, J. Isoya, S. A. Lyon, M. L. W. Thewalt, and K. M. Itoh, "Electron spin coherence of phosphorus donors in silicon: Effect of environmental nuclei," Phys. Rev. B **82**, 121201(R) (2010).

9) S. Miyamoto, O. Moutanabbir, T. Ishikawa, M. Eto, E. E. Haller, K. Sawano, Y. Shiraki, and K. M. Itoh, "Excitonic Aharonov-Bohm Effect in Isotopically Pure ^{70}Ge/Si Self-Assembled Type-II Quantum Dots," Phys. Rev. B **82**, 073306 (2010).

10) S. Miyamoto, K. Nishiguchi, Y. Ono, K. M. Itoh, and A. Fujiwara, "Resonant Escape over an Oscillating Barrier in a Single-Electron Ratchet Transfer," Phys. Rev. B **82**, 033303 (2010).

11) Y. Kawamura, Y. Shimizu, H. Oshikawa, M. Uematsu, E. E. Haller, and K. M. Itoh, "Critical Displacement of Host-Atoms for Amorphization in Germanium Induced by Arsenic Implantation," Appl. Phys. Express, **3**, 071303 (2010).

12) O. Moutanabbir, S. Miyamoto, E. E. Haller, and K. M. Itoh, "Transport of Deposited Atoms throughout Strain-Mediated Self-Assembly," Phys. Rev. Lett. **105**, 026101 (2010).

13) H. Tezuka, A. R. Stegner, A. M. Tyryshkin, S. Shankar, M. L. W. Thewalt, S. A. Lyon, K. M. Itoh, and M. S. Brandt, "Electron Paramagnetic Resonance of Boron Acceptors in Isotopically Purified Silicon, Phys. Rev. B **81**, 161203(R) (2010).

14) M. Endo, F. Matsukura, H. Ohno, "Current Induced Effective Magnetic Field and Magnetization Reversal in Uniaxial Anisotropy (Ga,Mn)As", Applied Physics Letters **97**, 222501 (2010).

15) H. Ohno, "A Window on the Future of Spintronics", Nature Materials **9**, 952-954 (2010).

16) D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrically Defined Ferromagnetic Nanodots", Nano Letters **10**, 4505-4508 (2010).

17) A. Tsukazaki, S. Akasaka, K. Nakahara, Y. Ohno, H. Ohno, D. Maryenko, A. Ohtomo, and M. Kawasaki, "Observation of the Fractional Quantum Hall Effect in an Oxide", Nature Materials **9**, 889-893 (2010).

18) S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "A Perpendicular-Anisotropy CoFeB–MgO Magnetic Tunnel Junction", Nature Materials **9**, 721-724 (2010).

19) A.Kanda, A. Suzuki, F. Matsukura, and H. Ohno, "Domain Wall Creep in (Ga,Mn)As", Applied Physics Letters **97**, 032504 (2010).

20) D. V. Nguyen, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, "Giant Peltier Effect in Self-Organized Quasi-One-Dimensional Nano-Structure in Cu-Ni Alloy," Appl. Phys. Exp. **4**, 015203 (2011).

21) Y. Tani, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, "First Principles Materials Design of Negative Activation Energy and Transparent Conducting Sulfides in n-Type $CuAl_{1-x}Sn_xS_2$ and p-Type $Cu_{1-x}VCu_xAlS_2$," Appl. Phys. Exp. **4**, 021201 (2011).

共同プロジェクト研究

採択回数　1　(2)　3

採択番号　Ｈ２１／Ｓ１

人間の機能を取り込んだ革新的概念による情報通信システム

［1］組織

代表者：田中　秀和
（大阪大学産業科学研究所）
対応者：白井　正文
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
山口　明人（大阪大学産業科学研究所）
朝日　　一（大阪大学産業科学研究所）
小林　　光（大阪大学産業科学研究所）
八木　康史（大阪大学産業科学研究所）
沼尾　正行（大阪大学産業科学研究所）
鷲尾　　隆（大阪大学産業科学研究所）
溝口理一郎（大阪大学産業科学研究所）
松本　和彦（大阪大学産業科学研究所）
中島　康治（東北大学電気通信研究所）
桝井　昇一（東北大学電気通信研究所）
羽生　貴弘（東北大学電気通信研究所）
鈴木　陽一（東北大学電気通信研究所）
塩入　　諭（東北大学電気通信研究所）
大堀　　淳（東北大学電気通信研究所）
外山　芳人（東北大学電気通信研究所）
室田　淳一（東北大学電気通信研究所）
大野　英男（東北大学電気通信研究所）
庭野　道夫（東北大学電気通信研究所）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
枝松　圭一（東北大学電気通信研究所）
末光　眞希（東北大学電気通信研究所）
長　　康雄（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費・旅費300万円

［2］研究経過

現在のインターネットを含む情報システムは，流通する情報量が指数関数的に増大して，危機的状況にある。情報の質を上げ，しかも消費エネルギーを1桁下げること無しには，高度情報社会は急速に混乱へ向かうと推測される。それを回避するため，人間の機能を情報通信デバイスおよびシステムに取り込んだ柔軟で自在性の高い革新的情報デバイス・システム，ブレインウェアシステムの構築が目的である。構成的手法による高次脳機能の解明を行い，その知見を取り入れた新しい情報通信デバイス，情報処理システムをハードウェアとして実現する。世界の情報量は年々1.5〜2倍で上昇しており，このままいけば，2030年には全世界の消費エネルギーの50%が，情報ネットワークのために消費されると試算されている。

本プロジェクトでは，人間の機能に学び，従来とは原理の異なる新たな情報デバイス・システムを創成し，将来的には人と環境にやさしい安全な社会システムの構築を目指す。このような情報デバイス・システムを早急に立ち上げなければ，日本のエレクトロニクス産業の活性化はあり得ないと予想される。ターゲットは，新機能デバイス創製からインターネットを含む全世界的な情報システム全体であり，関連分野が広く組織間連携がなければ目的を達成できない。

本プロジェクトは，本年度が第2年度であった。前年度は，東北大学電気通信研究所と大阪大学産業科学研究所において講演会を計4回開催し，研究者間の相互理解を図るとともに，率直な意見交換を行った。その中で，本プロジェクトの方向性の意識合せを行い，ブレインウェア技術の実用化に向けて，注力すべき具体的な研究項目を確認した。また，研究項目ごとに参画研究者を決定し，共同研究体制の強化に努めた。その結果，(1) 全方位視覚センサと各種反射屈折光学系の応用，(2) 歩容映像解析とその応用，(3) 運動視の複数の処理経路の機能と視覚的注意の測定技術，(4) 酸化物薄膜・ヘテロ構造デバイスの応用，(5) 磁気トンネル接合ロジックインメモリ回路の提案，(6) 混合シグナル・プラットフォームの基礎概念に関する成果を得た。

そこで本年度は，前年度の成果を踏まえながら，歩容意図に関する研究を中心に推進するとともに，材料・デバイス関連の研究者間の情報交換のため，平成23年3月11日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催した。午後1時30分から開始し，朝日　一　教授，櫻庭政夫　准教授，前橋兼三　准教授の講演を終え，前半のセッションの最後の尾辻泰一教授の講演中（午後2時46分）に地震が発生した。そのため屋外への避難を余儀なくされ，研究会は途中で取り止めることになった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，歩容意図に関する研究について，視線と頭部方向の対応の統計的データの取得と，歩容を表現する意図について検討する場のシナリオについての検討に焦点を当てた準備研究を実施した。

視線と頭部方向の対応の統計的データの取得では，実験室での制御された環境での眼球運動の特性を考慮することで，行動時の限られた精度の眼球運動データから視線位置を推測することを目標に，以下の進捗を得た。視線は頭部固定の眼球運動測定装置により，頭部運動は頭部に固定したカメラ映像の中心からの推定と姿勢角センサによる頭部方向の測定を利用して測定するシステムを構築した。頭部運動が誘発される広い視野の視覚探索課題遂行時に，視線運動と頭部運動を測定し，視線と頭部方向の間の関連について予備的実験を行った。その結果，探索ターゲットが画面中央から視角4度以内に提示されたとき，頭部は動かず，眼球のみが動くことが見出された。しかし，探索ターゲットが画面中央から視角12度付近に提示されると，眼球が頭部よりも先行して動き，探索ターゲットが画面中央から視角34度付近に提示されると，頭部が眼球よりも先行して動くことが示された。これらの結果は，頭部運動と視線の間には課題や刺激に依存した統計的な関係があり，それを利用することで頭部運動から視線を推測できる可能性を示唆する。

また，歩容意図を表す語句検討結果より，意図表出しやすい語句から連想される場面設定のもと，駅構内等における軽犯罪予防を意識した場のシナリオについて，歩行時の注視の観点から検討した。基礎的な実験のために「向う，探し廻る，近づく」という意図を含む実験条件について検討し，注意制御の関わる課題として視覚探索課題を修正して利用することとした。そのために，まず歩行なしで体を動かし視覚探索を行う実験装置である360度視野ディスプレイの構築を進めた。

さらに，聴覚は本来的に全空間 4π からの情報を常に取得可能という特性を有していることから，電気通信研究所において，全方位からの音環境情報のセンシングを行う球状多チャネルマイクロフォンアレイと，空間的な音環境情報提示を行う聴覚ディスプレイシステムの開発が進められている。また，人間が対象物の知覚・認知を行うにあたっては，視覚や聴覚などの単一の感覚情報のみならず，複数の感覚を同時に受容し，それらの情報を統合することによってより正確な把握を行っている．たとえば，音は，運動する物体の見え継続性を強化する役割を持っている。そこで，このような研究成果を背景に，これらのシステムを360度視野ディスプレイと組み合わせて使用し，マルチモーダル情報処理を行う将来の可能性について，種々の議論を行っている。

一方，「人間の機能を取り組む」情報通信システムを実現するためには，従来までの CMOS 一辺倒の回路・システム実現手法のみならず，高安全性・超低消費電力性等に優れた革新的ハードウェアプラットフォームについても検討する必要がある。その一解決法として，磁気トンネル接合(MTJ)デバイスを用いた不揮発ロジックインメモリ回路技術について検討した。MTJ デバイスは，CMOS 集積回路層の上部に積層して実現できるため，①記憶機能をロジック回路の近傍に配置できる（データアクセスの高並列性・高速性），②記憶機能を積層できるため面積削減できる（コンパクト性），③待機時に電源を完全に OFF できる（低消費電力性），④MTJ デバイスを MOS トランジスタのソース端子に直列接続することで，回路の論理しきい値電圧をプログラムできる（回路の高信頼性），などの特徴を有する。本年度は，MTJ デバイスを用いた具体的回路構成例として，任意のロジック演算機能を実現する不揮発ルックアップテーブル(LUT)回路構成について検討した。提案の不揮発 LUT 回路では，冗長に挿入した MTJ デバイスを適宜プログラムすることにより，回路内のデバイス特性バラツキを軽減し，所望の出力が得られることを明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性など

現在の情報システムは危機的とも言える状況にあるため，これをクリアすべく新しい情報システムが吃緊に必要である。そのため人間の機能を情報通信システムに取り込んだ柔軟で自在性の高いシステムを，できるだけ早急に実現することが必須である。革新的新概念によるブレインウェアシステムを早急に実現することが，日本のエレクトロニクス産業の再生につながり，ひいてはこの研究のすそ野の大きさから見て，日本を活性化して再生する最良の方策になりうる。本プロジェクトにより，この方向の研究を推進することは，現在，各方面で形成されつつある脳研究に基づく情報システム開発の萌芽的組織の中核となる拠点形成を可能とし，今後の研究を牽引する組織づくりが可能となる。

本プロジェクトにより大阪大学産業科学研究所の研究者との交流が飛躍的に活性化した結果，歩容意図に関する研究が，科学技術振興機構 CREST 研究領域「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」の「歩容意図行動モデルに基づいた人物行動解析と心を写す情報環境の構築」に発展した。

［4］成果資料

(1) S. Shioiri, K. Yamamoto, H. Oshida, K. Matsubara, and H. Yaguchi: “Measuring attention using flash-lag effect”, *Journal of Vision*, vol. 10, no. 19, pp.1-13 (2010).

(2) T. Yamazaki, K. Matsumiya, I. Kuriki, and S. Shioiri: “The influence of spatial representation in pointing task” (in Japanese), *Vision*, vol. 22, no. 3, pp. 149-163 (2010).

(3) C. Hua, Y. Makihara, and Y. Yagi: “Pedestrian detection by combining the spatio and temporal features”, 第 13 回 画像の認識・理解シンポジウム, pp. 1715-1722 (2010).

(4) 奥村麻由, 槇原 靖, 八木康史: “大規模歩容データベースを用いたガウス過程回帰による年齢推定の評価”, 情報処理学会研究報告, vol. 2010-CVIM-175, no. 33, pp. 1-8 (2011).

(5) S. Hidaka, W. Teramoto, J. Gyoba, and Y. Suzuki: “Sound can prolong the visible persistence of moving visual objects”, *Vision Research*, vol. 50, no. 20, pp. 2093-2099 (2010).

(6) 上野雄大, 大堀 淳: “SML#の外部関数インターフェイス”, コンピュータソフトウェア, vol. 27, no. 2, pp. 142-168 (2010).

(7) D. Suzuki, M. Natsui, H. Ohno, and T. Hanyu: “Design of a process-variation-aware nonvolatile MTJ-based lookup-table circuit”, *Solid State Devices and Materials*, pp. 1146-1147 (2010).

(8) S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno: “A perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junction”, *Nature Materials*, vol. 9, pp. 721-724 (2010).

(9) K. Takahashi, M. Sakuraba, and J. Murota: “Fabrication of high-Ge-fraction strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si hole resonant tunneling diode using low-temperature Si_2H_6 reaction for nanometer-order ultrathin Si barriers”, *Solid-State Electronics*, vol. 60, pp. 112-115 (2011).

(10) S. Katano, S. Ushioda, and Y. Uehara: “Vibrational excitation of a single benzene molecule adsorbed on Cu(110) studied by scanning tunneling microscope light emission spectroscopy,” *Journal of Physical Chemistry Letters*, vol. 1, no. 19, pp. 2763-2768 (2010).

(11) T. Inagaki, H. Kosaka, Y. Rikitake, H. Imamura, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu: “Measurement of electron spin states in a semiconductor quantum well using tomographic Kerr rotation,” *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 49, no. 2, article no. 04DJ09, pp. 1-3 (2010).

(12) K. Tanaka and Y. Cho: “Actual information storage with a recording density of 4 Tbit/in.^{2} in a ferroelectric recording medium”, *Applied Physics Letters*, vol. 97, no. 9, article no. 092901, pp. 1-3 (2010).

(13) T. Kanki, Y. Hotta, N. Asakwa, T. Kawai, and H. Tanaka: “Noise-driven signal transmission using nonlinearity of VO_2 thin films”, *Applied Physics Letters*, vol. 96, no. 24, article no. 242108, pp.1-3 (2010).

(14) V. P. Nguyen, T. Washio, and T. Higuchi: “A new particle filter for high-dimensional state-space models based on intensive and extensive proposal distribution”, *International Journal of Knowledge Engineering and Soft Data Paradigms*, vol. 2, no. 4, pp. 284-311 (2010).

(15) S. N. M. Tawil, D. Krishnamurthy, R. Kakimi, S. Emura, S. Hasegawa, and H. Asahi: “Studies on the InGaGdN/GaN magnetic semiconductor heterostructures grown by plasma-assisted molecular-beam epitaxy”, *Journal of Crystal Growth*, vol. 323, pp. 351-354 (2011).

(16) Simon Ortiz, K. Moriyama, K. Fukui, S. Kurihara, and M. Numao: “Three-subagent adapting architecture for fighting videogames", *Proceedings of the 11th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence* (PRICAI 2010) (Lecture Notes in Artificial Intelligence, no. 6230), pp. 649-654 (2010).

第 6 章　国際会議・シンポジウム等

６．１　通研国際シンポジウム

グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム
2nd RIEC International Symposium on Graphene Devices (ISGD2010)

開 催 日：平成２２年１０月２７日（水曜日）～２９日（金曜日）（３日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟
参加人数：９１名

本シンポジウムは、急速な進展をみせている新材料グラフェンのデバイス応用に関する技術と物理およびモデリングをテーマとし、2008 年（会津大開催）に続く第二回目として、JST-CREST、会津大学、ニューヨーク州立大学バッファロー校の共催を得て、企画開催された。内外の第一線で活躍する研究者１９名（うち海外１２名）を招聘し、最先端の研究成果を招待講演いただくとともに、１８件の一般オーラル講演（うち海外２名）と１４件の一般ポスター講演（うち海外２名）を含め、合計５１件の講演を集め、９１名の参加者を得た。グラフェンの特異な光電子物性、熱伝導特性を中心とする物性、結晶成長・評価分析技術、トランジスタ，レーザー等の電子・光デバイス、論理ゲート、信号処理デバイスなど、グラフェンデバイスを基軸として幅広い研究状況の最先端が三日間のセッションに集約され、終始、深い議論が交わされた。開催直前に、2010 年度ノーベル物理学賞がグラフェンの発見に対して授与されるという思いがけない好機となった。オープニングでは、ノーベル賞受賞者の A. Geim 博士から主催者に寄せられたメッセージが紹介され、会場が沸き立った。クロージングでは、Student Paper Award が 3 名の学生（うち２名が本学学生）に授与された。次回開催に向けた国際的委員会組織の発足と日欧米での巡回開催の計画が紹介され、盛会のうちに終了した。



国際シンポジウム

第９回 日韓表面ナノ構造シンポジウム
9th Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructures (JKSSN9)

開 催 日：平成２２年１１月１５日（月曜日）～１６日（火曜日）（２日間）
開催場所：仙台秋保温泉ホテル佐勘
参加人数：１２名

本シンポジウムは、日本学術振興会と韓国 KOSEF との協定によるアジア研究教育拠点事業「ナノ物質を基礎とする学際科学研究教育拠点の構築」(2005～2009 年度）の一分科として開始され、年２回のペースでこれまで開催されてきた。表面科学分野で世界をリードする日韓の科学者が最新データを持ち寄って自由に討論することを特徴とするシンポジウムであり、今回は表面化学反応、グラフェン、光 STM、トポロジカル絶縁体に関する理論と実験の講演があった。表面化学反応では吸着有機分子のスピンを用いて量子情報制御を行う提案や燃料電池の電極反応に関する最先端の知見、及び Si 基板の超平坦化技術について講演があった。グラフェンでは、SiC 結晶表面からの Si 昇華によるエピタキシャル・グラフェン形成過程に関する理論と実験の報告があった他、形成グラフェンの転写技術やデバイス応用について最先端の技術が紹介された。また表面評価手法の定番となっている走査型トンネル顕微鏡（STM）に極短パルス光励起を組み合わせることで、フェムト秒オーダでの緩和過程を知ることが出来るようになること、また、放射光と STM を組み合わせることでナノメートルオーダの分解能で化学組成の同定が可能となることが報告された。「表面」はバルク物質形成の「現場」であると共に、新奇物性発現を可能とする低次元場である。とくにこれからますます重要となるであろうグラフェン、あるいはスピンと表面に関わりあいにおける評価、制御、機能発現に関する最先端の情報交換を行うことができたことは大きな収穫である。

第７回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ
The 7th RIEC International Workshop on Spintronics

開 催 日：平成２３年２月３日（木曜日）～４日（金曜日）（２日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設

2011 年 2 月 3, 4 日の両日に、本学電気通信研究所が主催する標記国際ワークショップが附属ナノ・スピン実験施設において開催された[組織委員長: 通研・大野英男教授、本学省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンターでの 1st CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs (2 月 3,4 日)とのジョイント開催]。参加者 126 名の内、国外からの参加者は 21 名を数えた。アメリカ、フランス、韓国、日本から 18 名の研究者を招待講演者として迎えた。ポスターセッションでは、ポーランド、トルコ、韓国、日本から 22 件の一般講演があった。ワークショップの内容は磁気トンネル接合、磁性細線の材料物性から、それらを利用したスピン注入磁化反転・磁壁移動特性、理論解析、集積回路まで、基礎物理から最新の工学応用を含む幅広い話題をカバーした。活発な議論を通して、スピントロニクス集積回路の研究開発動向・課題および将来の方向性が明らかとなり、非常に有意義なワークショップとなった。学生の参加も多数あり、学生の国際性を育むという観点からも大きな成果を得ることができた。



第７回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ参加者集合写真

６．２　国際会議等の開催状況

第５回　SiGe テクノロジー＆デバイス国際会議

5th Int. SiGe Technol. & Device Meeting

開催日：平成 22 年 5 月 24 日～26 日（3 日間）
開催場所：ストックホルム（スウェーデン）

本国際会議は，SiGe 系Ⅳ族半導体材料とその極限ヘテロ構造のプロセス技術やデバイス・回路技術に関して包括的に議論することを目的に，共同プロジェクト研究 H-14/A-01「Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス応用に関する研究」が中心となって企画・開催した国際会議であり，今回で第 5 回目の開催となった。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは，プログラム委員（アジア地域代表）として室田淳一教授が参加し，全参加者は 110 名に達した。招待講演 17 件の他，一般口頭発表 33 件とポスター発表 23 件が行われ，最新の研究動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた。また，上記発表のうちの多くが学術論文としてまとめられ，その論文集は 2011 年に学術論文誌 Solid-State Electronics の特集号（Vol.60, 2011）として出版済みである。日本を含む世界の半導体産業の活性化のためにも，本会議の開催は重要な意味を持つものであり，次世代 Si 系ヘテロナノデバイス開発の道が開拓されると期待されることから，すでに次回の継続開催（2012 年 5 月，米国）も決定されている。

国際会議等

第４回　ECS SiGe, Ge, 関連化合物：材料・プロセス・デバイス国際会議

4th ECS SiGe, Ge, & Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp.

開催日：平成 22 年 10 月 10 日～15 日（6 日間）

開催場所：ラスベガス（米国）

本国際会議は，SiGe と Ge に関連する材料・プロセス・デバイスに関して包括的に議論することを目的とし，今回は第 4 回目の開催である。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは, 組織委員として室田淳一教授（General Committee）と櫻庭政夫（Epitaxy Committee）が参加し，全参加者は 150 名に達した。招待講演 43 件の他，一般口頭発表 45 件とショート口頭（ポスター）講演 22 件の総計 110 件の発表が行われ，最新の SiGe と Ge に関する研究動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた。また，上記の全発表が学術論文としてまとめられ，その論文集は 2010 年 10 月に学術論文誌 ECS Transaction (Vol.33, No.6, 2010) の特集号として出版されている。今後，この分野の研究が推進されることにより，Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造の学問分野が大きく展開するであろう。本会議の詳細は http://www.ecssige.org/index.html において公開されている。

国際会議等

第 7 回エンタテインメントコンピューティングに関する国際会議 ACE 2010

7th Advances in Computer Entertainment Technology Conference

開催場所： Taipei, Taiwan
開催日： 17-19 November, 2010
Web： http://www.ace2010.org/

本会議は，エンタテインメントのためのコンピュータ技術に関する国際会議であり，7 回目の今回は台湾で開催された．主催は ACM である．本分野は日本が世界をリードしているところがあり，2009 年にギリシャ・アテネで開催された第 6 回会議に続いて，今回も電気通信研究所の北村喜文教授がプログラムチェアを務めた．

本年は 26 カ国から約 130 件の投稿があり，査読によってその中から 40 件の口頭発表が採択され発表された．そのうち Full Paper が 17 件，Short Paper は 23 件で，全体の採択率は 30%であった．その他，Creative Showcase と呼ぶ査読付きのデモ発表が 15 件展示された．さらに，16 件のポスター発表があった．ベストペーパーに相当する GOLD PRIZE は，米国・ジョージア工科大学の"Imagineering Tangible Optical Chess on An Interactive Tabletop Display" に与えられた．テーブルトップディスプレイ上で行なうレーザーチェスシステムで，ミラー型のコマとレーザーの軌跡をディスプレイ上に表示して行なうチェスゲームであり，受賞にふさわしい高い完成度の内容であったと思われる．

本会議は，日本を含む世界のこの分野の発展に重要な役割を担っており，その意味からも 2011 年はポルトガルのリスボンで継続開催することが決まった．

第 17 回バーチャルリアリティのソフトウエアと技術に関する国際会議 VRST 2010

17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology

開催場所： Hong Kong, China
開催日： November 22-24, 2010
Web： http://www.vrst.org/

VRST は ACM 主催の国際シンポジウムとして毎年開催され, 今回が 17 回目の開催となる．電気通信研究所の北村喜文教授がステアリングコミッティを務めており，2010 年の今回は香港の香港理工大学にて開催された．

50 カ国から 103 件の論文投稿（71 件のフルペーパーと 32 件のショートペーパー）があり，査読によってその中から 18 件のフルペーパーと 15 件のショートペーパーが採録された．フルペーパーの採択率は 25.3%となる．これらに加えて，10 件のポスター発表とデモンストレーションが行われた．また，2 件のキーノートがあった．University of North Carolina at Chapel Hill の Dinesh Manocha 教授による講演は，大規模な群衆シミュレーションをインタラクティブレートで実現する手法についてであり，University of Macau / The Chinese Academy of Science の Enhua Wu 教授による講演では，性質の異なる複数流体間のインタラクションをシミュレーションする手法に関する話題が提供された．これらのキーノートを含めていずれのセッションにも興味深い発表が多く，活発な議論がなされていた．

学会初日には香港サイエンスパークにある ALiVE へのツアーが組まれ，最先端の VR システムを体験することが出来た．本年の VRST 2010 への参加登録者数は 83 名であり，例年よりやや少なめであった．開催国である中国以外ではフランスからの発表者・参加者が多く，この国でのバーチャルリアリティ研究の盛況ぶりを示唆していた．

国際会議等

第 4 回 日仏超臨場バーチャルリアリティ ワークショップ

4th Japan-France Cooperative Workshop on Improving the Virtual Reality Experience 2010

開催場所： 東北大学電気通信研究所
開催日： 2010 年 11 月 26 日 27 日

独立行政法人 科学技術振興機構（JST）の日本・フランス研究交流（戦略的国際科学技術協力推進事業）として，2008 年 2 月より始まった「超臨場 VR 体験環境」では，研究交流としてワークショップを毎年開催してきたが，その最終年度のワークショップを，東北大学電気通信研究所で開催した．本ワークショップにはフランスから 8 名，日本から 22 名が集まり，東北大学からは，電気通信研究所の鈴木陽一教授，岩谷幸雄准教授，北村喜文教授が出席し，北村喜文教授がホスト役を務めた．2 日間で両国から 14 件の研究報告がなされ，活発な議論が繰り広げられた．

世界の中で「バーチャルリアリティ」を専門とする国内学会を有する国は日本とフランスの 2 国だけであり，世界の当該分野の研究をこの両国が牽引していると言える．これまでのワークショップでの議論から個別の共同研究などの交流に発展した例も多数あり，また両国のバーチャルリアリティ学会での全国大会等で交流セッションをそれぞれ企画するなど，連携は確実に太く確実なものになりつつある．本ワークショップでは，この関係を今後もさらに強め継続することを確認しあって閉会した．

6．3　工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研　究　会　名	主　　査	幹　　事
1	伝送工学研究会	安達文幸　教授	Haris GACANIN　助教
2	音響工学研究会	鈴木陽一　教授	坂本修一　助教
3	仙台“プラズマフォーラム”	畠山力三　教授	安藤　晃　教授
4	ＥＭＣ仙台ゼミナール	曽根秀昭　教授	山口正洋　教授
5	コンピュータサイエンス研究会	篠原　歩　教授	住井英二郎　准教授
6	システム制御研究会	吉澤　誠　教授	本間経康　准教授
7	情報バイオトロニクス研究会	庭野道夫　教授	吉信達夫　教授
8	スピニクス研究会	一ノ倉　理　教授	斉藤　伸　准教授 三浦健司　助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山充隆　教授	阿部正英　准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	櫛引淳一　教授	大橋雄二　助教
11	ブレインウェア工学研究会	中島康治　教授	佐藤茂雄　准教授
12	情報・数物研究会	田中和之　教授	田中和之　教授
13	生体・生命工学研究会	塩入　諭　教授	松宮一道　助教
14	ナノ・スピン工学研究会	室田淳一　教授	櫻庭政夫　准教授

伝送工学研究会

主査　安達　文幸，　幹事　ペン　ウェイ

伝送工学研究会は，最も長い歴史をもつ研究会であり，これまでの開催回数は５００回を超える。本研究会は，電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており，放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの招待講演と研究報告を行ってきた。

本年度は 9 回の研究会が開催され，招待および特別講演が 3 件，一般講演が39件行われた。最新の研究動向と成果が発表され，活発な議論が行われた。

第 527 回
日時：　2010年 5 月26日（水）　13:00 ～ 15:30
場所：　東北大学　電気・情報系 451 ・ 453 会議室
演題：
1.　【招待講演】ディジタルコヒーレント光伝送における周波数領域等化技術
　　石原浩一（ NTT 未来ねっと研究所）
2.　繰り返しMMSEマルチユーザ検出を用いる SC-FDMA 上りリンク
　　奥山卓，　武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
3.　シングルキャリア伝送における 2 ステップ QRM-MLD 周波数領域ブロック信号検出
　　天間克宏，山本哲矢，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
参加人員：51人

第 528 回
日時：　2010年 6 月16日（水）　13:00 ～ 14:30
場所：　東北大学　電気・情報系 451 ・ 453 会議室
演題：
1.　QRM-MLD を用いたシングルキャリアマルチユーザMIMOのセルラシステム上りリンク容量
　　板垣将志，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
2.　変調散乱アレーを用いた電磁界の位相の測定法
　　水上透、陳強、澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
3.　地上ディジタル放送波の屋内電界分布の数値解析と測定
　　五十嵐一浩、陳強、澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科 ）、 茂木智広（八木アンテナ株式会社）
参加人員：38人

第 529 回
日時：　2010年 7 月21日（水）　13:00 ～ 15:00
場所：　東北大学　電気・情報系 103 会議室
演題：
1.　破損素子を有する 2 次元大規模周期的アレーアンテナの局所アドミタンス補償による解析

今野佳祐、陳強、澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）、瀬在俊浩（宇宙航空研究開発機構）

2. 近接無線電力伝送のアンテナ設計法についての検討
小澤和紘、陳強（東北大学大学院工学研究科）、 袁巧微（仙台高専）、
澤谷　邦男（東北大学大学院工学研究科）
3. 自己相関行列推定を用いるウィナーフィルタに基づく重畳型パイロットチャネル推定
内海哲哉　武田一樹　安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
4. スペクトル分割・適応サブキャリア割当てを用いたSC-FDMA協調リレーの送信電力低減効果
中田雅之　武田一樹　安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人員：54人

第530回
日　時：2010年9月22日（水）　13:00 ～ 16:00
場　所：東北大学　電気・情報系103会議室
演　題：

1. Theoretical Evaluation on MIMO Performance of the Modulated Scattering Antenna Array in Indoor Environment
王　琳, 陳　強（東北大学大学院工学研究科）, 袁巧微（仙台専）, 澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
2. スペクトル分割・適応サブキャリア割当て　を用いるSC-FDMA直接・協調リレー選択型通信　の送信電力低減効果
中田雅之, 武田一樹, 安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
3. Compressed sensing based Channel Estimation in the Amplify-and-forward Two-way Relay Network via exploiting the channel sparsity
Guan Gui , Peng Wei, Fumiyuki Adachi（東北大学大学院工学研究科）
4. オンチップ光配線のための光入出力インターフェース
中田雅之, 武田一樹, 安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
5. SPM法を用いた波源の電流振幅分布の推定
甄源、チャカロタイ　ジェドヴィスノプ、陳強、澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
6. 内視鏡治療のためのEr:YAGレーザ誘起液体ジェット
渡邊智紀（東北大学大学院工学研究科),福富万里子（東北大学工学部),松浦祐司（東北大学大学院医工学研究科）

参加人員：50人

第531回
日　時：2010年10月13日（水）　13:00 ～ 15:00
場　所：東北大学　電気・情報系103会議室
演　題：

1. NRDガイドを用いた60GHz帯周波数走査アンテナ
岩崎　徹（NHK、東北大学大学院工学研究科）　鴨田浩和、九鬼孝夫（NHK）
2. 電車からの電磁波の不要放射の数値解析

平　尚大，陳　強，澤谷　邦男（東北大学大学院工学研究科）
3. 既知系列を利用した演算量削減型最尤ブロック信号検出を用いるシングルキャリアMIMO多重の誤り率特性
山本哲矢，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
4. 空間ダイバーシチを用いた分散アンテナネットワークにおける HARQ のスループット特性
松川隆介，小原辰徳，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
5. Si細線光導波路を用いた波長可変レーザ用リング共振器フィルタ
鈴木健、北智洋、山田博仁（東北大学大学院工学研究科）
6. 歯髄動脈血検出のための多波長パルスオキシメトリー
櫛引真也（東北大学大学院医工学研究科），柿野聡子（東京医科歯科大学），片桐崇史（東北大学大学院工学研究科），松浦祐司（東北大学大学院工学研究科）

参加人員：48人

第 532 回
日　時：2010年11月10日（水）　13:00 ～ 15:00
場　所：東北大学　電気・情報系 103 会議室
演　題：
1. 中空光ファイババンドルの製作とラマン分光イメージングへの応用
冨山達弘，片桐崇史（東北大学大学院工学研究科），松浦祐司（東北大学大学院医工学研究科）
2. 熱アニールプロセスによるシリコン細線光導波路の特性変化
岩田英範，北智洋，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）
3. フォトニックエレメントを用いた偏波制御の検討
井元敦生，大寺康夫，山田博仁（東北大学大学院工学研究科）
4. User Collaboration for Spectrum Sensing in Gamma-shadowed Nakagami-m Fading
Haroon Rasheed(AIT, Thailand), Nandana Rajatheva(University of Oulu), Fumiyuki Adachi(Graduate School of Engineering Tohoku University)
5. 地上ディジタル放送波の屋内電界分布の数値解析と測定
五十嵐一浩，武田優，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科），佐藤智之（八木アンテナ）
6. フレネルレンズの 2 次元FDTD解析
滝本未来，佐藤弘康，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）

参加人員：54人

第 533 回
日　時：2011年12月15日（水）　13:00~15:00
場　所：東北大学　電気・情報系 103 会議室
演　題：
1. ルチル型TiO2をコアに用いる非線形光導波路
阿部　貢一，モラレス寺岡　エドガル芳男，北　智洋，山田　博仁（東北大学大学院工学研究科）
2. 蛍光管をミリ波帯熱雑音放射器としたパラボラアンテナの設計

栗山弘平（東北大学大学院工学研究科），中田淳（中央電子株式会社),佐藤弘康，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）

3. 傾斜コルゲーション付き右手／左手系導波管を用いた周波数走査アンテナ
岩崎　徹（NHK、東北大学大学院工学研究科），鴨田浩和，九鬼孝夫（NHK）
近接無線電力伝送のアンテナ設計法についての検討
小澤和紘，陳強（東北大学大学院工学研究科），袁巧微（仙台高専），澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
4. 近接無線電力伝送のアンテナ設計法についての検討
小澤和紘，陳強（東北大学大学院工学研究科），袁巧微（仙台高専）澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）
5. 伝搬特性改善のためのリフレクトアレーの評価法
小林克也，櫻井　僚，陳　強，澤谷　邦男（東北大学大学院工学研究科）
6. Overlap FDE を用いるシングルキャリア伝送における等化重みに関する検討
小原辰徳，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人員：42人

第 534 回
日　時：2011年 1 月19日（水）　13:00~14:30
場　所：東北大学　電気・情報系 103 会議室
演　題：
1. 【招待講演】モバイル無線端末技術の進化と今後の技術動向
木村良平、大泉透（パナソニック株式会社　東京 R&D センター）
2. 【招待講演】LTE-advancedにおける上りマルチアクセスとそのシステム性能
高岡辰輔（パナソニック株式会社　東京 R&D センター），
3. 地上ディジタルテレビジョン放送波の屋内における空間相関の測定
武田優，五十嵐　一浩，陳　強，澤谷　邦男（東北大学大学院工学研究科），

参加人員：35人

第 535 回
日　時：2011年 2 月16日（水）　13:00~14:00
場　所：東北大学　電気・情報系 103 会議室
演　題：
1. シングルキャリア伝送における適応木構造簡略化を利用した
天間克宏，山本哲矢，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
2. シングルキャリア伝送における時間領域と周波数領域演算量削減型最尤ブロック信号検出の比較
諸我英之，山本哲矢，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）

参加人員：23人

音響工学研究会

主査　鈴木陽一，幹事　坂本修一

音響工学研究会は，音波，固体振動，超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し，討論や意見交換をする場として， 1950 年頃に発足した研究会である。関連する分野は，電気音響，聴覚・心理音響，建築音響，騒音制御，ディジタル補聴器，音声分析・合成，音声認識・理解，音環境工学など，多岐にわたっている。 2010 年度は，主査鈴木陽一教授，幹事坂本修一助教のもとで，研究会 2 回（第 356 回，第 357 回）と通研講演会 1 回が開催された。会場は，第 356 回が電気通信研究所 2 号館大会議室，第 357 回は東北大学工学部電子情報システム・応物系講義棟 103 会議室で行われた。なお，第 356 回は電子情報通信学会HIP研究会，日本認知心理学会感性学研究部会，日本光学会視覚研究グループ，日本心理学会「注意と認知」研究会との共催で，第 357 回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催された。第 356 回は， 2010 年 10 月 14 日（木）， 15 日（金）に開催され，研究発表 20 件，参加者は延べ 114 名であった。第 357 回は 2010 年 12 月 13 日（月）に開催され，研究発表 8 件（うち招待講演 1 件），参加者は 59 名であった。通研講演会は， 2011 年 2 月 22 日（火）に坂本真一氏（（株）オトデザイナーズ代表取締役）による「「聴覚」から始める新ビジネス～カラーマーケティングからオトマーケティングへ～」という題の講演が開催され，参加者は 21 名であった。

なお，当初は第358 回研究会を生体生命工学研究会と合同で 2011 年 3 月22 日（火）に開催する予定であったが，東日本大震災の影響で中止となった。

仙台“プラズマフォーラム”

主査　畠山力三，　幹事　安藤晃

本研究会は，放電，核融合等のプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質，並びに電気推進機等へのプラズマ応用とそれに関連する最新の研究成果に関して，特別講演及び特別企画を開催するとともに，活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

平成２２年度の活動として，学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎物理，プラズマプロセス応用，プラズマ推進機応用，プラズマ環境応用等に関する「研究討論会」を３回開催。大学院生による気液界面及び高周波プラズマのエネルギー制御とナノ粒子・ナノ構造形成への応用，プラズマ利用新機能性ナノカーボンの形成と応用，プラズマ流及び電子温度勾配の形成と物理現象解明等の研究発表会を１回開催。国内，国外研究者によるプラズマナノバイオトロニクスの基礎研究，プラズマ流の基礎と応用，負イオンプラズマ・微粒子プラズマの科学等に関する「研究発表」を６回開催した。多様な展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し，最新の研究成果を持ち寄り討論を行うとともに情報交換を行うことができた。以上の研究会参加者は，学内外合わせて常時４０名前後であった。

ＥＭＣ仙台ゼミナール

主査　曽根　秀昭，　幹事　山口　正洋

ＥＭＣ（環境電磁工学）は，電磁ノイズと信号の電磁干渉（ＥＭＩ）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり，電気工学分野の研究者と技術者はＥＭＣ問題に関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない 1977 年２月に，ＥＭＣにいかに取組むべきかを調査し，学問として体系化する目的で，「ＥＭＣ仙台ゼミナール」が発足した。この活動は，誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え，世界にＥＭＣ研究の方向を示し実践してきた。また，ここで討論された先進的な研究は，我が国や世界のＥＭＣ研究において，牽引力の役割を果たしており，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。 2001 年に IEEE EMC Society 仙台 Chapter が設立され，連携して活動している。

平成 22 年度は，第 187 回（10 月 29 日）は和田修己先生（京都大学），第 188 回（12 月 21 日）は久我宣裕先生（横浜国立大学）の講演があり、両回で IEEE EMC Symposium への東北地区からの参加者による５件の研究発表・参加報告が行われた。

他に、５月 27 ～ 28 日にサイバーサイエンスセンターで PPEMC'10（第４回環太平洋地域環境電磁工学合同会議）が開催され、本学からも多数の研究発表があった。

コンピュータサイエンス研究会

主査　篠原　歩，　幹事　住井　英二郎

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。２０１０年度は第１５５回講演会から第１６０回講演会まで６回の講演会を開催した。

Keiko Nakata 氏 (Tallinn University of Technology) は While 言語のトレースに基づく余帰納的大ステップ意味論のためのホーア論理について、 David Monniaux 氏 (仏 CNRS) はデータフロープログラムのためのモジュラーな抽象化について、 Vasileios Koutavas 氏(Trinity College Dublin)は高階並行言語のための推論手法について、 Olivier Danvy 氏 (Aarhus University) は計算体系の小ステップおよび大ステップ意味論について、定兼　邦彦氏（国立情報学研究所）は簡潔木のデータ構造と文法圧縮について、 Harald Zankl 氏 (University of Innsbruck) は減少図式のためのラベルづけについて、それぞれ講演した。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査　吉澤　誠，　幹事　本間　経康

本研究会は，システム制御における，理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は以下のとおりである。

１）（通研講演会）　国立循環器病研究センター循環動態制御部　部長　杉町　勝氏（演題：心不全治療における循環制御）

情報バイオトロニクス研究会

主査　庭野　道夫、幹事　吉信　達夫

21 世紀の重要な科学技術分野であるナノ・バイオエレクトロニクスの発展のためには，電子工学技術と多様な機能をもつ生化学反応系との融合が必要である．本研究会では，電子工学の研究者と生命科学の研究者が協力して，ナノ・バイオエレクトロニクスの未来を討論することを目的としている．本年度は，情報バイオトロニクス研究会を２回開催し，越田信義氏による通研講演会と共同プロジェクトメンバーらによる研究会を行った．

［第 1 回］情報バイオトロニクス研究会:「周波数変調原子間力顕微鏡による生体分子イメージングおよび局所水和構造可視化」講師：山田啓文（京都大学),「固体表面に支持された脂質二重膜の相分離制御」荻野俊郎（横浜国立大学),「固体基板表面におけるパターン化人工生体膜の構築」森垣憲一（神戸大学),「半導体加工に基づくイオンチャネルチップの開発」平野愛弓（東北大学),「K チャネルゲートの AFM による操作」井出 徹（理化学研究所・大阪大学),「脂質二分子膜とチャンネルを用いる物質検知法」菅原正雄（日本大学）

［第 2 回］情報バイオトロニクス研究会:「STM 発光による有機分子計測」講師：上原洋一（東北大学),「ミトコンドリア内膜の状態変化とシトクロム c の漏出」篠原康雄（徳島大学),「細胞間ネットワーク構築の時空間的制御が可能なプラットフォームの開発」坪川宏・岡崎和宣(東北福祉大学),「神経回路における薬物作用と発振現象のシミュレーションに関する研究」桜井伊知郎（東北大学），「身体が表現する行動要素の組み合わせコードとしての脳」中村 俊（東京農工大学），

【通研講演会】「ナノシリコンと有機色素とのコンポジットにおけるエネルギー伝達」越田信義（東京農工大学）

スピニクス研究会

主査　一ノ倉理、　幹事　齊藤伸、三浦健司

スピニクス研究会は、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を目指し、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野 (スピニクス) に携わる研究者間の情報交換と討論の場として1990年に発足した。本会では例年、最新の話題に関する依頼講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした特別研究会を企画している。本年度は計14回の研究会を開催した。以下、 IEEE Magnetics Society Sendai Chapter および IEEE Sendai Section と共催した、主催研究会について概要を記す。

平成22年 6 月11日には、東北工業大学内田裕久教授、東北大学三俣千春教授、日本大学鈴木良夫教授による講演会を開催した。 7 月20日、10月 7 日、10月20日にはIEEE Distinguished Lecturer 計 4 名を招き講演会を開催した。10月 28-29 日には茨城大学にて特別研究会を開催した。茨城大学杉田龍二教授、小峰啓史准教授、日本原子力研究開発機構神戸振作氏、武田全康氏の特別講演を含め全35件の講演がなされ、参加者のべ 102 名により活発な討論が行われた。 J-PARC ならびに日立製作所社の見学会も実施し、関連する学術・実用動向に関して知見を深めた。12月28日には信州大学佐藤敏郎教授を招き 2 時間に渡る通研講演会を開催した。翌年 2 月18日には民間企業の 5 名に講師を依頼し「モータ技術の最前線」に関する講演会を行った。東北モータ磁石イノベーション戦略会議の協賛を得、遠くは関東・中部地方から 113 名もの参加者を集めた。 2 月24日には東北大学川下将一准教授、慶應義塾大学能崎幸雄准教授による講演会を行った。

本年度は、主査：一ノ倉理教授（電通)、 幹事：斉藤伸准教授（電子)、 三浦健司助教（通研)、 企画幹事：遠藤恭准教授（電通)、 佐藤文博准教授（電通)、 Simon Greaves 准教授（通研)、 栃修一郎准教授（通研)、 三宅耕作助教（電子）で運営した。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査　亀山 充隆，幹事　阿部 正英

本研究会は，従来の延長上にない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており，平成 22 年度は以下の 5 回を開催した。

第 69 回　平成 22 年 6 月 10 日（木）情報知能システム総合学科
　GCOE 第 3 回 超高速・高精度ディジタル信号処理アルゴリズムとシステムに関するワークショップと共催．研究発表 1 件

第 70 回　平成 22 年 9 月 4 日（土）東京・TKP 大手町カンファレンスセンター
　研究発表 2 件

第 71 回　平成 22 年 10 月 15 日（金）情報知能システム総合学科
平成 22 年度情報処理工学セミナーと共催．ポスターセッション 27 件

第 72 回　平成 22 年 11 月 27 日（土）東京・東北大学東京分室
　研究発表 2 件

第 73 回　平成 23 年 2 月 18 日（金）情報知能システム総合学科　通研講演会
　演題：「ソフトウェア向け C コンパイラとハードウェア向け C コンパイラ〜再構成チップ適用を通じて，本質的な相違点を考える〜」
　講演者：若林 一敏（日本電気）

超音波エレクトロニクス研究会

主査　櫛引　淳一，　幹事　大橋　雄二

目的：超音波計測、音波物性、超音波デバイスとその応用、医用超音波に関する研究発表・討論を行う

第64回
日時：平成22年6月10日（木）13:30-17:40
会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系　103会議室
演題：
1.「EUVL用 TiO_2-SiO_2 超低膨張ガラスのゼロCTE温度精密測定用超音波計測システムの開発」
　櫛引　淳一，◎荒川　元孝，大橋　雄二，三野宮　利男，丸山　由子
　（東北大学大学院工学研究科）
2.「超音波マイクロスペクトロスコピーシステムによるAlN単結晶の音響特性評価
　－　回転Y板の評価　－」
　◎大橋　雄二[1]，櫛引　淳一[1]，B. M. Epelbaum[2]，A. Winnacker[2]，永田　俊郎[3]
　([1]東北大学大学院工学研究科，[2]Univ. Erlangen-Nuremberg，[3]JFEミネラル（株））
3.「LFB超音波材料解析システムによる損失のある試料に対する漏洩弾性表面波伝搬特性の測定」
　◎近藤　貴則，大橋　雄二，櫛引　淳一
　（東北大学大学院工学研究科）
4.「超音波医学の進歩に関する仙台の役割」
　◎中鉢憲賢
　（東北大学名誉教授）
5.「赤血球凝集度評価を目指した高周波超音波RF受信波スペクトルの正規化による散乱体サイズ推定に関する検討」
　◎福島　拓[1]，長谷川英之[2,1]，金井　浩[1,2]
　（[1]東北大学大学院工学研究科，[2]東北大学大学院医工学研究科）
6.「心臓壁領域の自動同定を目指した超音波RF信号の特徴抽出に有効な心時相の検討」
　◎高橋広樹[1]，長谷川英之[1,2]，金井　浩[2,1]
　（[1]東北大学大学院医工学研究科，[2]東北大学大学院工学研究科）

第65回
日時：平成22年7月22日（木）15:00-17:50
会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系　103会議室
演題：
1.「パルス・エコー法を用いた熱変性する前後での鶏ささみ肉の縦波音速の測定」
　◎獅子谷　卓[1]，吉澤　晋[1]，梅村　晋一郎[2]

（[1] 東北大学大学院工学研究科，[2] 東北大学大学院医工学研究科）
2.「超音波マイクロスペクトロスコピー技術による合成石英ガラスの仮想温度評価に関する検討」
櫛引　淳一，◎荒川　元孝，大橋　雄二，丸山　由子，近藤　貴則
（東北大学大学院工学研究科）
3.「LFB超音波材料解析システムによる多結晶ダイヤモンド膜の音響特性評価に関する検討」
◎近藤　貴則[1]，大橋　雄二[1]，櫛引　淳一[1]，藤井　知[2]，P. T. Joseph[3]，I. N. Lin[4]
（[1] 東北大学大学院工学研究科，[2] 千葉大学・産学連携，[3]National Tsing-Hua Univ.，[4]Tamkang University）
4.「高温環境下圧力センサー用LTGA単結晶の音響関連物理定数の決定に関する検討」
◎大橋　雄二[1]，大藤　宗和[1]，櫛引　淳一[1]，唐木　智明[2]，安達　正利[2]
（[1]東北大学大学院工学研究科，[2] 富山県立大学工学部）

第66回
日時：平成22年11月18日（木）14:00-17:30
会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系　451・453会議室
演題：
1.「超音波マイクロスペクトロスコピー技術によるGaN単結晶の音響特性評価」
◎大橋　雄二，櫛引　淳一
（東北大学大学院工学研究科）
2.「超音波後方散乱波の複数特徴量を用いた心臓壁領域の自動同定法」
◎高橋　広樹[1]，長谷川　英之[1,2]，金井　浩[2,1]
（[1]東北大学大学院医工学研究科，[2] 東北大学大学院工学研究科）
3.「生体内散乱体からの超音波信号の解析による断層像間のスライス方向距離推定」
◎鈴木　淳弘[1]，長谷川　英之[1,2]，金井　浩[2,1]
（[1]東北大学大学院医工学研究科，[2] 東北大学大学院工学研究科）
4.「超音波治療における生体模擬ゲルを用いたキャビテーション生成と分調波検出による解析」
◎滝本　顕悟[1]，森山　達也[2]，吉澤　晋[2]，梅村　晋一郎[1,2]
（[1]東北大学大学院医工学研究科，[2] 東北大学大学院工学研究科）
5.「多点キャビテーションを利用した治療用超音波の高効率化の研究」
◎稲葉　脩太[1]、森山　達也[1]，滝本　顕悟[2]，吉澤　晋[1]，梅村　晋一郎[1,2]
（[1]東北大学大学院工学研究科，[2] 東北大学大学院医工学研究科）

第67回
日時：平成22年12月13日（月）13:00-17:00
会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系　講義棟103会議室
演題：
1.「差分シャドウグラフ法を用いた集束超音波音場計測」
◎大村　亮介[1]，島崎　悠太[1]，吉澤　晋[1]，梅村　晋一郎[2,1]

（[1] 東北大学大学院工学研究科，[2] 東北大学大学院医工学研究科）

2.「超音波アレイトランスデューサのMOSFET階段波駆動・制御に関する研究」
◎岡田　淳平[1]，稲葉　脩太[1]，森山　達也[1]，吉澤　晋[1]，梅村　晋一郎[2,1]
（[1] 東北大学大学院工学研究科，[2] 東北大学大学院医工学研究科）

3.「超音波顕微鏡による軟部組織の音響インピーダンス測定における試料界面の影響」
◎佐藤　悠介[1]，獅子谷　卓[2]，吉澤　晋[2]，梅村　晋一郎[1,2]
（[1] 東北大学大学院医工学研究科，[2] 東北大学大学院工学研究科）

4.「赤血球凝集度の定量的評価を目指した40 MHz超音波散乱波のパワースペクトルの正規化による散乱体サイズ推定」
◎福島　拓[1]，長谷川　英之[2,1]，金井　浩[1,2]
（[1] 東北大学大学院工学研究科，[2] 東北大学大学院医工学研究科）

5.「超音波トランスジューサによる二端子対網回路を用いた対象物の音響インピーダンスの非接触推定」
◎中澤　一宏[1]，長谷川　英之[2,1]，金井　浩[1,2]
（[1] 東北大学大学院工学研究科，[2] 東北大学大学院医工学研究科）

6.「確率的言語モデルに基づく音声ドキュメント検索のためのWebを利用したモデル拡張の検討」
◎増村　亮，咸聖俊，伊藤　彰則
（東北大学大学院工学研究科）

7.「Reproduction of sound fields using ambisonics and irregular loudspeaker arrays」
◎Jorge TREVINO[1]，Takuma OKAMOTO[2]，Yukio IWAYA[1] and Yo-iti SUZUKI[1]
（[1]Graduate School of Information Sciences and Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University,
[2]Graduate School of Engineering, Tohoku University）

8.「仮想音源の移動と定位精度との関係について」（招待講演）
◎工藤　彰洋
（苫小牧工業高等専門学校電気電子工学科）

以上

ブレインウェア工学研究会

主査　中島　康治，幹事　佐藤　茂雄

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は第一回を平成 22 年 7 月 16 日、第二回を平成 22 年11月 12 日、第三回を平成 23 年 1 月 5 日にそれぞれ開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである。第一回：「強誘電体デバイス応用 LSI 技術」木村啓明（ローム）、「 RFID タグ IC の歴史と展望」桝井昇一（東北大）、「超伝導電子デバイスを利用したニューロ演算へのアプローチ」小野美武（東北大）、「自律分散制御型BMIを通じた”自立工学”の開拓」坂本一寛（東北大）、第二回：（紙面の都合上省略）、第三回：「将来の無線センサネットワークへ向けた取り組み」加保貴奈（NTT未来ねっと研究所）、「意志決定における時間とその神経基盤：脳型ロボットによるアプローチ」我妻広明（九州工業大学）、「ニューロン活動の一方向伝搬に対するスパイクタイミングに依存したシナプス可塑性と抑制性ニューロンの役割」林初男、佐村俊和（九州工業大学）、「ファジィ理論を用いた脳診断システムの開発とその臨床応用」畑豊（兵庫県立大学）。なお、以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査　田中和之，幹事　田中和之

情報・数物研究会は、確率的情報処理・統計的学習理論・情報通信理論とその情報統計力学的アプローチに関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計８回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：内澤啓氏（東北大学大学院情報科学研究科)“生体情報処理の視点に基づいたエネルギー効率の高いしきい値回路の設計”, 中山英久氏（東北工業大学工学部）“情報ネットワークの定量化に基づく状態定義の技術”，鬼沢直哉氏（東北大学電気通信研究所）“Low-Density Parity-Check(LDPC)復号ハードウェア設計手法”, 津田宏治氏（産業技術総合研究所生命情報工学研究センター）“複合ソート法による高速な全ペア類似度検索”，河原吉伸氏（大阪大学産業科学研究所）“劣モジュラ性を用いた大域的探索法とその応用”，松田佳希氏（東京工業大学大学院理工学研究科）“ランダムグラフ上の±J 模型におけるスピングラス相境界”，Chiu-Ting Candy Hsu 氏（Department of Computer Science, National Tsing Hua University, Taiwan）“Age Estimation Using Nonnegative Facial Feature Projection”。

生体・生命工学研究会

主査　塩入　諭，　幹事　松宮一道

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成１２年９月に発足した．以下に平成２２年度の活動概要を示す．

第 23 回は平成 22 年 12 月 21 日（火）に１３：３０から１６：００まで工学部電子情報システム・応物系 1-103 会議室にて開催され，東北大学大学院情報科学研究科・生命情報システム科学分野の木下賢吾教授の「計算科学的アプローチによる遺伝子機能推定法の開発」と題する特別講演が行われた．引き続いて４件の一般講演があった．参加者は２８名であった．第 24 回は平成 23 年２月 25 日（金）に１３：３０から１６：４５まで東北大学大学院情報科学研究科大講義室にて開催され，東京大学大学院薬学系研究科の池谷裕二准教授の「脳回路の自発性に潜むルール」と題する特別講演が行われた．参加者は３８名であった．いずれの会も広範な分野からの参加者があり，活発な討論がなされた．

工学研究会

ナノ・スピン工学研究会

主査　室田淳一，　幹事　櫻庭政夫

２１世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成 16 年４月１日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分論議することを目的としている。平成 22 年度は、以下の講演会を実施した。

第45回　平成22年 7 月 2 日 13:30 - 14:30
「 Silicon Photonics for Optical Fiber Communication 」
Prof. Klaus Petermann (Technische Universität Berlin, Germany)

第46回　平成22年 8 月 6 日 16:00 - 17:30
「 The Magnetism of $x \leq 0.03$ (Ga,Mn)N 」
Dr. M. Sawicki (Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland)

第47回　平成22年 9 月 8 日
15:00 - 16:00
「A microfluidic immunosensor based on ferromagnetic resonance induced in magnetic bead labels 」
Prof. Pallavi Dhagat (Oregon State University, Corvallis, USA)
16:00 - 17:00
「 Design and Simulation of Magnetic Logic Circuits 」
Prof. Albrecht Jander (Oregon State University, Corvallis, USA)

第48回　平成22年10月29日 15:00 - 16:00
「阪大産研の遠赤外自由電子レーザー開発と利用の現状」
磯山悟朗教授（大阪大学産業科学研究所）

第49回　平成22年11月 4 日
13:30 - 14:15
「Carrier transport in nanoelectronic and optoelectronic graphene-based devices」
Dr. Vladimir Vyurkov (Visiting Prof. RIEC on leave from the Russian Academy of Science (RAS), Russia)
14:15 - 15:30
「Stimulated terahertz emission from optically pumped graphene」
Dr. Stephane Albon Boubanga Tombet (JSPS Research Fellow on leave from the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), France)

第50回　平成22年12月16日
13:30 - 14:10

［招待講演］「共鳴トンネルダイオードの室温テラヘルツ発振」
○鈴木左文・浅田雅洋（東工大）
14:10 - 14:35
「グレーデッドエミッタによる共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振素子の走行時間短縮」
○寺西豊志・鈴木左文・静野　薫・浅田雅洋（東工大）・杉山弘樹・横山春喜（NTT）
14:35 - 15:15
［招待講演］「テラヘルツ無線通信の現状と将来展望」
○永妻忠夫（阪大）
15:35 - 16:00
「局部発振器用 THz-QCL の開発」
○入交芳久（ NICT ）・芝　祥一（東大）・関根徳彦・寶迫　巌（ NICT ）・小山知記・前澤裕之（名大）・山本　智（東大）
16:00 - 16:25
「利得媒質と電場増強効果を用いたテラヘルツ増幅器」
○高塚裕也・佐野栄一（北大）・リズィー　ヴィクトール（会津大）・尾辻泰一（東北大）
16:25 - 16:50
「光学励起グラフェンの非平衡キャリア緩和過程とテラヘルツ帯における反転分布」
○佐藤　昭（東北大）・ヴィクトール　リズィー（会津大）・ステファン ボウバンガ - トムベット・尾辻泰一（東北大）
16:50 - 17:15
「 Coherent and Voltage Tunable Terahertz Emission from Nano-metric Field Effect Transistor at Room Temperature」
○ Stephane Boubanga-Tombet ・ Akira Satou （ Tohoku Univ. ）・ Victor Ryzhii （ Univ. of Aizu ）・ Taiichi Otsuji （ Tohoku Univ. ）

平成22年12月17日
09:30 - 10:10
［招待講演］「 InP-HEMT MMIC を用いたミリ波インパルス無線の検討」
○原　直紀・中舎安宏・牧山剛三・高橋　剛（富士通 / 富士通研）
10:10 - 10:35
「近傍界イメージング用77GHz帯モノスタティックレーダモジュール」
○望月章志・都甲浩芳・久々津直哉（NTT）
10:35 - 11:15
［招待講演］「準ミリ波長距離伝送に向けた低コスト基板上GaNデバイス」
○酒井啓之・黒田正行・根来　昇・村田智洋・永井秀一・西嶋将明・按田義治・上田哲三・田中　毅（パナソニック）
11:15 - 11:40
「ナノゲート$In_{0.7}Ga_{0.3}As/InAs/In_{0.7}Ga_{0.3}As$コンポジットチャネルHEMTに関するモンテカルロ計算」
○遠藤　聡（ NICT/ 富士通研）・渡邊一世（ NICT ）・三村高志（富士通研 /NICT ）
13:00 - 13:25
「層状半導体 GaSe 結晶による 1.2 μ m励起超広帯域連続周波数掃引テラヘルツ波発生」

○出崎　光・田邉匡生・小山　裕（東北大）
13:25 - 13:50
「テラヘルツ偏光分光の一軸変形高分子材料その場評価への応用」
○渡邉健太・田邉匡生・小山　裕（東北大）
13:50 - 14:15
「有機物分子性伝導体TTF-TCNQ錯体結晶のテラヘルツ物性」
○大橋隆宏・田邉匡生・小山　裕（東北大）
14:35 - 15:15
［招待講演］「Key components of terahertz remote sensing system」
○Juraj Darmo・ Michael Martl ・ Daniel Dietze ・ Karl Unterrainer （ TU Vienna）
15:15 - 15:40
「超平坦光コム発生器を用いたミリ波帯ビート信号の生成」
○諸橋　功・坂本高秀（ NICT ）・外林秀之（青学大）・川西哲也・寶迫巌（ NICT ）
15:40 - 16:05
「ポンプ - プローブ・テラヘルツ放射顕微鏡による低温成長 GaAs 光伝導スイッチのキャリアダイナミクスに関する研究」
○藤原昌悟・川山　巌・村上博成・斗内政吉（阪大）

第51回　平成23年 3 月 3 日 15:00 - 16:30
【通研講演会】
「量子情報通信ネットワークの最近の進展」
佐々木雅英博士（独立行政法人情報通信研究機構新世代ネットワーク研究センター量子 ICT グループリーダー，東北大学電気通信研究所客員教授）

６．４　通研講演会

ディジタルコヒーレント光伝送における周波数領域等化技術

NTT 未来ねっと研究所　石原浩一

開 催 日：平成23年5月26日（水）　13:00～14:00
開催場所：東北大学工学研究科 451・453 会議室
参加人数：51 名

本講演会では，NTT未来ねっと研究所の石原浩一さんが，まず，ディジタルコヒーレント光伝送の最新技術動向について紹介し，続いて，コヒーレント光伝送における信号処理技術として最近最も注目を集めている周波数領域等化についての研究の最前線を紹介した．これまで無線通信で発展してきた信号処理技術を応用することで，光ファイバ伝送における波長分散や偏波モード分散といった主要な伝送劣化要因を補償することができ，光伝送の高速化・大容量化が実現可能であることを強調された．無線と光伝送の共通の信号処理技術に関する興味深い講演であり，講演後はさまざまな議論が展開された．

通研講演会

「聴覚」から始める新ビジネス
～カラーマーケティングからオトマーケティングへ～

（株）オトデザイナーズ
代表取締役　坂本真一

開 催 日：平成 23 年 2 月 22 日（火）
開催場所：電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室

現代の多くの新商品は，「人々の視覚に，如何に訴えかけるか？」という観点から開発されている場合が多い。人々の目に留まり，心に訴えかけるような色彩を利用する「カラーマーケティング」という言葉が，商品企画の世界の常識になっていることからも，その傾向を強くうかがい知ることができる。しかし，様々な分野において，同様の観点で開発やプロモーションを行ってきた結果，人々の感性は，多少の視覚情報では反応しなくなってきてしまっている。聴覚をはじめとする“五感”を活用する「五感コミュニケーション」という言葉が注目され始めているのは，飽和状態の視覚優先社会からの脱却が求められているからであろう。このような問題意識に基づき，オノマトペに着目した新たなマーケティング手法の紹介や，携帯電話やスマートフォンで音を用いるアプリを開発する際の問題点などについての解説を通して，人々の「聴覚」に訴えかける商品開発の今後の展望について議論した。

ご講演では，技術者がシステム評価の際に思い浮かべる印象を，オノマトペを用いて表現する場合に，そのオノマトペの持つ多義性から同じオノマトペを用いていても必ずしも印象は一致するわけではないこと，この問題点を解決するためのオノマトペのデータベースの構築といった話題提供があった。これらの話題は，実際に現場で技術者が直面する課題解決に直接役に立つ知見であり，今後研究を実際に製品に生かしていく上で，きわめて有効だったものと考える。

通研講演会

非平衡極限プラズマとプラズマ乱流の研究について

核融合科学研究所 核融合理論シミュレーション研究系　教授　伊藤 公孝

開 催 日：平成 23 年 2 月 21 日(月曜日) 14:20～15:20
開催場所：東北大学大学院工学研究科 電気・情報系 451・453 会議室

日本学術会議提言「学術の大型装置計画・大規模研究計画」とそこに選択された「非平衡極限プラズマ全国連携研究ネットワーク計画」について説明され，プラズマ物理の新しい機運を紹介された．特に，伊藤先生が長年培われてきた磁化不均一プラズマ乱流の研究を題材に取って解説され，非平衡極限プラズマを対象として，乱流，構造形成，動的発展や遷移を取り扱う学問的方法の発展を目指していると述べられた．さらに，その相互理解に基づいて，乱流輸送の制御，レーザー光の応用，場の制御，界面の制御，非平衡プラズマプロセス産業応用などの開発が進展するなど，非平衡プラズマに通有する機構を論じられた．以上のような最新の研究成果についての講演があり，活発な議論が展開された．

通研講演会

マイクロ波帯における相互変調ひずみとその測定法について

横浜国立大学・大学院工学研究院　准教授　久我　宣裕

開 催 日：平成２２年１２月２１日（火曜日）１５：００～１８：００
開催場所：東北大学　サイバーサイエンスセンター　講義室
参加人数：２７名

受動回路が有する非線形特性に起因する相互変調ひずみは，電気接点のラフコンタクトにおける電気的非線形性を確認するための検出手段として用いられてきた。講師は，対象機器のインピーダンスを整合して計測する従来の検出手法の問題点として，(1)小型の試料の場合に測定の信頼性が著しく劣化する点，(2)特性インピーダンスを維持しなければならないため，特性の総合評価はできても，相互変調歪発生要因の特定などにコストおよび労力を要する点を指摘した。

講師は，負荷と線路のインピーダンス整合を要しない手法として，「先端短絡伝送線路法」，「同軸管法」を提案した。提案手法は任意形状の試料の評価が可能であり，また，測定システムの残留ノイズを最小化するために試料に電流定在波の腹を印加するようにして「電流ベース」の非線形性を安定かつ高感度に抽出できる有用な手法である。講演に続いて，参加者と活発な議論が展開された。

簡潔木のデータ構造と文法圧縮

国立情報学研究所　教授　定兼 邦彦

開 催 日：平成２３年２月２８日（月）１４：００～１６：００
開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系３号館２０６号室
参加人数：約４０名

講演要旨：

簡潔木（succinct trees）とは木を表現するデータ構造である．サイズは極限まで圧縮されているが，従来のデータ構造と同等の問い合わせ時間を実現する．

文法圧縮（grammar compression）は文字列をそれを生成する文脈自由文法に置き換える圧縮法であり，Lempel-Ziv，Byte-pair encoding，Sequitor，Re-Pair などの圧縮法を含む広い枠組みである．文法圧縮は文字列だけではなく，木構造の圧縮にも用いられる．本講演ではこれらについて解説する．

通研講演会

心不全治療における循環制御

国立循環器病研究センター
循環動態制御部 部長　杉町 勝

開 催 日：平成２２年１２月２３日（木）１０：１５～１２：００
開催場所：東北大学川内北キャンパス講義棟Ｂ棟２階　２０３号室
参加人数：２３名

心不全は生体調節異常に起因する代表的疾患であり，生体調節の理解と制御が診断や治療の主眼である．対症的な薬物療法は心不全の長期予後を改善しないのに対し，調節異常を是正する薬剤が予後を改善した結果が報告された．心不全では血圧調節系（圧反射系）が異常であり，交感神経の過緊張と迷走神経の消退を呈する．迷走神経の電気刺激による賦活化は薬物治療を超える予後改善を動物実験で示した事例が報告された．一方で，急性期の救命には複数の血行動態変数を迅速に正常化する対症療法が必要である．多薬剤の投与量を同時に迅速安定に決定する自動制御治療の開発についても報告された．本講演では生体調節の機能同定法に関する一連の動物実験結果とこれらの治療法開発の今後についても，活発な議論が展開された．

通研講演会

ナノシリコンと有機色素とのコンポジットにおけるエネルギー伝達

東京農工大学工学研究院・教授・越田　信義

開 催 日：平成２３年２月２１日（月）１４：０５～１４：５０
開催場所:東北大学電気通信研究所ナノ･スピン実験施設 4 階 A401 号室

講演者の研究室では，陽極酸化プロセスを用いてナノ結晶シリコン層を形成し，その基礎物性の評価やデバイスへの応用を行っている．直径数 nm に微細化したシリコンの示すエレクトロルミネッセンス(EL)に基づくシリコン発光ダイオードや 3 次元光導波路，光共振器の作製に成功している．本講演会では，これらのデバイスをもとに光電子集積回路や光情報処理への応用展開を目指す演者のアプローチについて分かりやすく講演していただいた．さらに，化学的に高い活性を示すナノ結晶シリコンの特徴を活かしたバイオセンサや神経細胞培養のプラットフォームへの応用を視野にいれたバイオエレクトロニクスへの展開についても解説がなされた．医学，薬学，化学，電子工学の多様な分野の研究者から各々のバックグラウンドに基づいた意見が交換され，活発な討論が展開された．

高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究

信州大学工学部電気電子工学科　教授　佐藤　敏郎

開 催 日：平成 22 年 12 月 28 日（火）15：00～17：00
開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系　講義棟 103 会議室
参加人数：４５名

高周波マイクロ磁気応用技術に関する研究のうち、電源の集積化を最終目的とした「パワーマグネティックス」、携帯電話や無線 LAN などの準マイクロ波帯高周波回路への磁気デバイスの応用を目的とした「マイクロ波マグネティックス」、磁界センサや応力センサを対象とする「センサマグネティックス」の３つのカテゴリについて講演がなされた。講演では、1）デバイスの高性能化を図るためには、ヘテロアモルファス、Fe 系微粒子分散材料、反強磁性/強磁性交換結合膜等、新しく提案される磁性材料がもつ線型・非線型磁界応答や高周波輸送特性を活かしきることが肝要であること、2）実際に得た材料実験の結果を基に、微細加工技術、高周波回路技術を駆使し各々のデバイスを作り上げ、産学連携を模索して性能試験まで行ったこと、3）本講演に関わる研究の将来展望として、スマートグリッド、第 4 世代携帯電話を視野にいれていること　等が述べられ、活発な議論が展開された。

ソフトウェア向け C コンパイラとハードウェア向け C コンパイラ　～再構成チップ適用を通じて，本質的な相違点を考える～

日本電気株式会社・主幹研究員・若林 一敏

開 催 日：平成２３年２月１８日（金）１５：３０～１７：３０
開催場所：東北大学工学部情報知能システム総合学科
　　1 号館 451・453 大会議室
参加人数：４０名

C 記述からハードウェア構造（RTL)を合成する動作合成と再構成デバイスを利用すると、C 記述からプログラム可能なチップという意味では、C コンパイラ＋CPU と非常に似た環境が構築できる。本講演では、まず、ハードウェア向け C コンパイラ（動作合成）とソフトウェア向け C コンパイラの相違点をスケジューラの並列度抽出の違い等コンパイラ内部面から紹介され、またプログラマ視点からの違いの考察があった。次に、動作合成結果を再構成可能デバイスへの搭載する方法や、デバッグ等の設計環境を含めて紹介された。最後に、これらのいくつかの実例が紹介された。

通研講演会

将来の無線センサネットワークへ向けた取り組み

NTT 未来ねっと研究所　研究主任（通研　客員准教授）　加保 貴奈

開 催 日：平成 23 年 1 月 5 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム

ユビキタスネットワークが高度・多様化されるにつれ、センサやRFIDなどの無線端末も爆発的に増加することが予想される。このような需要に対し、ソフトウェア無線技術を応用し、複数の無線システムを単一の無線システムで統合的に収容する、フレキシブルワイヤレスシステムが提案されている。本講演では、将来無線センサネットワークと、その応用分野についてご講演頂いた。

意志決定における時間とその神経基盤：脳型ロボットによるアプローチ

九州工業大学　准教授　我妻　広明

開 催 日：平成 23 年 1 月 5 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム

近年のロボット研究開発においては、工場生産の自動化を越えて一般社会における個別支援への応用の期待がある。生物に学ぶロボット工学では、従来の人工知能の論理演算の限界を越えるために、環境とエージェントという二者関係に基づく身体性（Embodiment）の枠組みが導入された。一方、社会や家庭で人と協力し作業支援するためには、環境を一義的に定義する万能な知的機械ではなく、環境の変動性や個人に寄り添うという状況依存性と個別性を持つ認知判断を有することまで踏み込む必要がある。「機知」と呼ばれる知能の側面は、機（タイミング）と知（要求されている内容）の融合が重要であること示している。いわば、「阿吽の呼吸」で「かゆいところに手が届く」という能力である。本研究では、脳を複合的な自律系ネットワークとする観点で、現実知をもつ我々の脳の計算原理に踏み込み、工学システムとしての脳型知能の実現を模索する。本発表では、関連する神経基盤の研究知見と合わせ、現在取り組んでいる脳型ロボットの研究について取り組みの現状について紹介して頂いた。

ニューロン活動の一方向伝搬に対するスパイクタイミングに依存したシナプス可塑性と抑制性ニューロンの役割

九州工業大学　教授　林　初男、同　博士研究員　佐村　俊和

開 催 日：平成 23 年 1 月 5 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム

本研究では、バイオフィジカルなニューロンモデルを用いた神経回路網モデルを作り、海馬CA3領野（リカレントネットワーク）がシータ位相コードされた時系列信号を受けると、刺激部位からニューロン活動（スパイク）が放射状に伝搬を始め、その放射状伝搬によってCA1領野で時系列学習ができることを示している。しかし、場所の時系列学習に重要な役割を果たしている海馬のシータリズムは、少なくともCA1領野では中隔側から側頭側に向かって一方向に伝搬していることが最近報告された［Lubenov and Siapas, 2009］。本講演では、これまでの研究成果とその背景についてレビューし、リカレントネットワークでニューロン活動の一方向伝搬が生じる条件や時系列学習における一方向伝搬の意義などについてご説明頂いた。

ファジィ理論を用いた脳診断システムの開発とその臨床応用

兵庫県立大学　教授　畑　豊

開 催 日：平成 23 年 1 月 5 日
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設カンファレンスルーム

認知症診断は、同じような病状であることから、病気の種類の鑑別が難しいと言われている。本講演では、まずアルツハイマー病診断支援システムについてご説明頂いた。核磁気共鳴画像装置（MRI)から得られる頭部 3 次元画像から全脳を抽出、その後、左脳、右脳、小脳、脳幹に自動的に分割し、その体積と 3 次元形状からアルツハイマー病と前頭側頭葉型認知症を鑑別する、ファジィ論理を利用したソフトウエアと、実際に臨床的に応用した結果についてご紹介頂いた。次に、頭蓋骨を透過させて脳の診断を行う超音波装置についてご紹介頂いた。日本での脳血管疾患の患者数は平成 21 年の 1 年間で 12.2 万人に登り、死亡総数の第 3 位である。経頭蓋超音波画像化装置は、頭蓋内の血流量や組織をリアルタイムに可視化することができ、大幅に撮影時間を短縮できる。ここでは、超音波を前頭部から透過させ、その反射波から頭蓋骨と脳組織の可視化を行う装置についてご紹介頂いた。

量子モンテカルロ法の確率過程に従うスピン系のマクロ変数の発展方程式

北海道大学大学院情報科学研究科 准教授 井上純一

開 催 日：平成２２年７月１４日（金）午後４：２０－５：５０
開催場所：東北大学大学院情報科学研究科棟２階中講義室
参加者数：１２名

平成２２年７月１４日に、標記講演会を開催した。ご講演では、スピングラス理論と量子確率場に関する学生向けの簡単な入門的解説の後、量子確率場で記述された体系の時間発展を記述するマクロ変数の発展式の導出とその量子情報処理過程の性能評価への応用についての最新の研究成果が紹介された。井上氏は、これまで量子確率場におけるスピングラス理論を応用したさまざまの先駆的研究を進められており、世界的に注目を集めている。関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

マルコフランダムフィールド(MRF)モデルの広がり――MRF の脳科学と地球科学への適用――

東京大学大学院新領域創成創成科学研究科 教授 岡田真人

開 催 日：平成２２年１１月１２日（金）午後４：２０－５：５０
開催場所：東北大学大学院情報科学研究科棟２階中講義室
参加者数：１２名

平成２２年１１月１２日に、標記講演会を開催した。ご講演では、マルコフランダムフィールドモデルと確率伝搬法に関する学生向けの簡単な入門的解説が行なわれた後、マルコフランダムフィールドモデルによる脳科学における信号解析から地震波の解析にいたるまでの幅広い自然科学への応用に関する最新の研究成果が紹介された。岡田氏は、これまで視覚を中心とする脳科学における情報統計力学、神経統計科学の立場からの先駆的研究を進められており、脳科学の理論研究の第一人者として世界的に注目を集めている。関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての活発な議論が行われた。

脳回路の自発性に潜むルール

東京大学・大学院薬学系研究科　准教授　池谷　裕二

開 催 日：平成２３年２月２５日（金）１３：３０～１６：４５
開催場所：東北大学大学院情報科学研究科　大講義室
参加人数：３８名

高速多細胞カルシウム画像（fMCI）と標的パッチクランプ法を併用し、海馬スライス培養からCA3野ニューロンの自発活動を記録したところ、有意な同期活動が観察された。同期発火の時間精度を検討したところ、2-6 msの時差を持った同期発火が多く見られ、これは特定のニューロン間で頻繁に観察された。実際、少数のニューロンペアが桁外れに強い結合強度を有していた。一方、弱いシナプスは伝達信頼性が低く、結合潜力も揺らぐ。この揺らぎの起源を逆相関解析したところ、軸索近辺のアストロサイトに強い因果性が示唆された。これはアストサイトから放出されるグルタミン酸が伝導中の活動電位幅を増大させることによっていた。以上の結果から、脳回路の内発的揺らぎはニューロンのみならずグリアや血管も含めた大規模な連関システムを基盤としていることが想定される。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、文学系、生物学系の広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、活発な議論がなされた.

通研講演会

量子情報通信ネットワークの最近の進展

独立行政法人情報通信研究機構新世代ネットワーク研究センター量子 ICT グループリーダー
東北大学電気通信研究所客員教授　佐々木　雅英

開 催 日：平成２２年３月３日（木曜日）１５：００～１６：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン総合研究棟４階　A401 セミナー室
参加人数：30 名

量子情報通信ネットワークは、極めて安全な通信や従来理論の容量限界を打破する低電力・大容量通信（量子通信）を実現するネットワークとして大きな期待が寄せられている。近年、日本の官民連携チームによって都市圏多地点ネットワーク上で動画の量子暗号伝送が世界で初めて実現され、実利用に向けた試験運用が始まるなど、著しい進展があった。本研究会では、我が国の量子情報通信ネットワーク開発を牽引する講師によって、量子情報通信ネットワーク技術の基礎事項の解説から最前線の研究開発動向の紹介に至る講演が行われ、活発な議論が展開された。

第 7 章　　評価と分析

７．１　運　営　協　議　会　報　告

第２６回東北大学電気通信研究所運営協議会

日　　時：平成２２年１２月１０日（金）午後１時３０分～午後５時２０分
場　　所：東北大学電気通信研究所２号館４階大会議室
出　席　者：
秋葉重幸（株式会社ＫＤＤＩ研究所　代表取締役所長）
荒川泰彦（東京大学　生産技術研究所　教授）
潮田資勝（独立行政法人物質・材料研究機構　理事長）
江村克己（日本電気株式会社　執行役員　中央研究所長）
太田賢司（シャープ株式会社　取締役専務執行役員　東京支社長）
久保田啓一（日本放送協会　放送技術研究所長）
富田眞治（京都大学　物質－細胞統合システム拠点　特定拠点教授）
富永昌彦（独立行政法人情報通信研究機構　理事）
丹羽邦彦（独立行政法人科学技術振興機構　研究開発戦略ｾﾝﾀｰ　上席ﾌｪﾛｰ）
吉田　博（大阪大学　大学院基礎工学研究科　教授）
寺田眞浩（東北大学　大学院理学研究科長）（代理）
内山　勝（東北大学　大学院工学研究科長）
亀山充隆（東北大学　大学院情報科学研究科長）
澤谷邦男（東北大学　大学院工学研究科　教授）
通研出席者：中沢正隆（教授）所長
庭野道夫（教授）副所長
塩入　諭（教授）副所長
枝松圭一（教授）所長補佐

中島康治、大野英男、鈴木陽一、外山芳人、村岡裕明、羽生貴弘、
白井正文、上原洋一、石山和志、桝井昇一、末光眞希、八坂洋、木下哲男、
末松憲治、足立栄希の各教授、多田順次特任教授

議　　事
所長から、次のことについて説明があった。
（１）研究所の活動について
１）所の新たな運営体制と特徴
２）若手育成
３）産学連携の推進
４）グローバル化
また、所長補佐から、次のことについて説明があった。

５）グローバルＣＯＥ「情報エレクトロニクスシステム教育研究拠点」について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●昨年度若い研究者を前面に押し出すという意見があったが、研究分野を准教授にも付与したとのことだが研究室を独立して持った訳ではないということか。また将来准教授が研究室を独立して持つことを考えているのか。

●准教授にもきちんと研究分野名を持たせたところが今回の新しいところだが、研究室の代表は教授ということになっている。准教授がいい研究をしていれば早めに独立した研究室を持たせて、また早めに教授に昇任させていくという形を考えている。

●新しい分野を生み出していく際、若い研究者を独立させて育てていくことも、歩留まりがあまり高くないかもしれないがあり得るのではないか。専門分野によって違いはあるが、准教授が独立した研究室を持つということは一つの方法としてあり得るのではないかと思うので是非進めてほしい。

●MIT との共同研究やグローバルＣＯＥなどで国際展開をされているが、准教授や助教などの若手研究者が内外で１年や２年の長期にわたり組織の外に出て研究を行う機会はどのようになっているのか。

●グローバルＣＯＥでは学生が海外で研究発表を行う際の派遣援助や３ヶ月から６ヶ月程度の海外インターンシップ制度を設けている。

●国際化ということで、事務組織がどれだけ対応できるかというのが大きなポイントになる。

●海外のインターンシップについては話題となっていたが、国内でのインターンシップについてどのようになっているのか。また、知財の出願については話があったが、活用についてはどのようになっているのか。

●国内のインターンシップは希望する学生は行かせているが、外に出たがらない学生は多い。また就職活動の時期と重なるとうまく活動できないこともあるので、１、２年生という早めの時期に行うことも検討している。

また、知財については教員にとってプライオリティがあまり高くなく、特許の数は増えていない。特許収入も年十数万円である。

●インターンシップについては、１、２年生という早めに行うものとドクターレベルで長期間行うものと分けて考えるのも良いのではないかと思う。また、特許については収入の話だけではなく、産学連携を考える際に知財の問題が重要になってきていることを視野に入れて考えた方がよいのではないか。

●日本人学生を外へ出す努力はどのような形で行っているのか。

●各研究室で研究している上で数カ月滞在したり、積極的に国際会議で発表させたり、している。ただ、１年間行くような学生は少ない。学生が外国に行くメリットを見出せず行きたがらない。

●外国人を採用する場合、研究施設などがよいというよりも居住環境等生活面での受入状況が選択の際の魅力となっている。日本ではそのあたりは貧弱な状況であるが、何かモデルケースとなるようなことはあるか。

●大学全体として井上プランに基づき片平キャンパス北側に外国人用の宿舎を建設するなど外国人に対するサポートを行っている。また、現在客員で来ていただいている著名な研究者の方々に１～２年滞在していただいたらどうだろうということを議論している。

●グローバル化を進めるために海外に職員を数カ月送り出す、また国際会議で発表をさせるなど自分のところでも行っているが、非常に歩留まりが悪い。本当に組織がグローバル化するには、その組織にいた人が一旦組織を離れて、例えばマスターは海外の大学で取得するなどして、人材の流動性も併せて考えていかないと、短期間の海外出張程度ではうまくいかないと思う。
●ＭＩＴとの国際共同研究プロジェクトなどがあるが、国際化を進めていく際最終的には社会に還元されるような成果の展開を見据えた産業界の巻き込みを考えていく必要があるのではないかと考えるが、どのように展望されているのか。
●海外との連携について、現在のところ産学連携までは考えていない。特許についても共同で行うことは難しいと考えている。この国際共同研究プロジェクトはＭＩＴと通研の研究者と学生がお互い交流しながら研究を行ったらどうかということを考えており、確かに企業にも参画してもらえればより実用性が増すとは考えられるが、今のところそこまで考えてはいない。
●マッチングファンドを創設したとのことだが、①今までこのような事を実施していなかったのか、②大学からも資金を出すということだがマッチングファンドの狙いは何か、③採択数を限定した理由はあるのか。
●産学連携マッチングファンドのような試みは行っていなかった。企業との共同研究など他の附置研究所に比べ遅れており、積極的に内部から連携を促進するために所長裁量経費を使い創設した。採択件数が限られるのは予算が限られるためである。
●連携の相手が違うパターンを想像されているようだが、今までと違う組み合わせを試行したりすることにポイントがあるのではないか。
●やり方はかなり自由に考えている。産学連携が少ないので、産学連携を積極的に行ってもらうためこのファンドを呼び水にしていきたい。
●国際的なベンチマーク、世界に対してどうランクしているか調査しているか。それをどう個人の処遇に反映させているか。
●ベンチマークについて、積極的に調べて評価に使うことはしていない。所の運営にインパクトファクターなどそのようなもので評価することは考えていないし、それに基づいて待遇に差をつけることも考えていない。
●では、２、３年研究も何もしなくても給与に影響しないのか。
●論文リストの提出などにより実績は確認しているので、研究活動がなければ評価は低くなる。
●若手支援のプログラムで科研費の基盤Ｃ程度の規模の制度を設けた趣旨は何か。科研費では採択されないおもしろそうな学際研究の芽を育てようという考えなのか。
●非常にユニークでやってみたらおもしろそうな研究にトライしているものを採用している。
●科研費の萌芽的研究とも違うものを考えているのか。
●個人で応募するというだけではなく、所としてきちんと予算を付け、また若手の育成も含め、所としてユニークな研究を取り上げていきたい。

（２）ブレインウェア実験施設の目指すもの

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●実用化していることはあるのか。また、国研とのコラボレーションは行っているのか。
●国研の方にはブレインウェア研究会には参加していただいていない。
　実用化については、例えば製品の外観・官能検査について東北の企業と一緒に開発し、廉価に導入できる製品として販売している例はある。
●この研究には広い分野からの研究者が集結する必要があると思われるが、脳科学やロボット工学の研究者と連携しているのか。
●ロボット工学の研究者の方とは連携して行っている。また医学系の方には講演をお願いするなど少しずつ連携を進めている。脳がどのような情報処理を行っているかを参考にしながら工学的なシステムを構築しようとしている。ノイマン型計算機では外部へ適応できないではないかという予想があるので、打開できるようなシステムを構築したい。
●プロジェクトの中心となるブレインウェアについて、それ自体の進むべき方向はもう確立しているのか、もしくはまだ模索しているのか。
●現状としては確立しておらず、模索している。脳に近いような形を取り入れた集積回路は作製しているが、全ての処理ができる訳ではなく、対応したシステム設計が必要。
●いつ頃までにどの程度の形にするか決めて行っているのか。
●ブレインウェア実験施設は１０年ホライズンということで設置されているので１０年スパンである程度見えるものは出さなければいけない。新たにロボット工学の方に来ていただき４年位で環境の変化に対応できるロボットを目指したい。
●大きなプロジェクトであるので、小さくとも実現可能で狙えるターゲットをいくつか決めて期限も定めて行えば、目指すところがよりはっきりするのではないか。
●マルチモーダル関係やヒューマンインターフェイスをやられている方と議論し、これからのターゲットを議論していく。
●アプリケーションにつながることを希望している。自動車やコミュニケーション、ロボットなどがそこまでつながる具体的な情報、アプリケーションといったところに力を入れて欲しい。アプリケーションまで持っていくにはソフトウェアや情報などいろいろな研究の充実が必要だと思われる。
●ブレインウェアとしてはアルゴリズムでプログラムを動かすということではない。
●現実を考えれば通常のプログラミングも必要になるのではないか。
●トータルとしては今までのアルゴリズム的なノイマン型システムとブレインウェア的なシステムと融合が必要になると思われる。ぜひ情報科学の方々とコラボレーションをしていきたい。
●産業界との連携について、メーンパートナーがいて共同研究を推進するなど行っているのか。
●まだその段階まで達しておらず、そのような方向に進みつつある状況である。
●産業界として何ができるのだろうかということを一度議論することが必要であるのではないか、そのようなタイミングではないかと思う。
●大学側はある程度ベーシックなところを行い、企業側はいろいろな切り出し方を考えられると思い研究に参加している。

（３）情報通信共同研究拠点～共同プロジェクト研究について～
　以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●総額があまりにも少なすぎるのではないか。
●国からの予算であり、共同利用・共同研究拠点制度が開始されることになり以前の制度と違うかのではないかと期待していたがあまり変化がなかった。
●新しい分野を開拓していくには知恵を出すシステムを持っておくことが必要であり、たとえ少額でも自由な発想で研究ができるこの制度は、新しい分野を作るという大学の使命としても存在させておくべきである。
●研究者仲間でこのような制度があることを羨ましいと思ってくれる方々がいるので、今の言葉を実感している。ただ、もう少し予算があってもよいという側面は多々あるので、どのようにサポートしていけるか今後考えていきたい。

（4）その他

次のような意見交換を行った。

●教員が多忙を極めている現状があると思うが、サバティカル制度の整備状況、実施状況はどうなっているのか。
●現状ではサバティカル制度を設けてはいない。競争的資金を獲得しないと運営ができない現状において、自由な時間を持つことが望ましいとは思われるが、自由な時間を持ちつつ競争的資金も獲得していくのは難しい。
●法人化後、多くの委員会など雑多な仕事が増え研究を行う時間が非常に減っているのではないか。
●組織として、研究交流会や共同プロジェクト研究発表会等の新しい施策を行い、教員の自由な時間を減らしてしまうのがいいのか、研究の活性化のため自由な時間が多少減っても仕方がないのか、ジレンマに陥っている。
●１～２年の長期間海外に派遣されている助教クラスの方はいるのか。
●１年間１名を派遣しているが、現状では精一杯である。小講座制であり配置人数が減少している中で、助教が２年間いなくなると研究室運営ができなくなる恐れがある。
●サバティカル制度について、通研の規模であれば導入は可能ではないか。導入を検討していただきたいが、学生の指導等があるので長期間の海外滞在は難しい。
●学生を配属させないなど思い切ったことをしないとなかなか難しいのではないか。
●教員へ任期を付けているか。
●現状では任期のある助教とない助教が混在しているが、原則として助教には任期を付している。軸足を置いて研究してもらうためにも任期を外すことを踏まえて教授会で検討しているが、本省の方針とのせめぎ合いになっている。
●助教は組織内で昇任していくことが多いのか。
●外部へ転出する助教が多い。転出ばかりだと敬遠されやる気を削ぐことになるので、ある程度の業績を上げた場合はきちんと評価し昇任するという、「やる気」を出させるようなやり方を考えている状況である。
●配置定員枠でも任期を付されているとのこと、大分厳しくやられているのではないか。
●助教の任期について、通研は工学研究科の電気・通信工学専攻及び電子工学専攻と歩調を合わせて行っている。通研は学部教育も含め幾つかの研究所の中でも教育に熱心に取り組んでいる。
●特徴としてライフイノベーションとグリーンイノベーションを含む第４期科学技術基

本計画が来年度から始まるが、基盤となる研究・教育はしっかりと行う一方、課題解決にどのようにつながるか説明責任が求められると思われる。その対処はどのように考えているのか。

●情報通信を今までどおり、グリーンとライフにかかわらず、粛々と研究を行い各部門のレベルを高いところまで持っていければ、と考えている。

●ライフ、グリーンだけにとらわれず、基盤となるような技術は必ず必要になっていくので、今のような取り組みを続けて欲しい。

●今までの基盤的な研究を進めて欲しい。

●産業界はどうしても出口を気にしてしまうが、大学は産学連携で考えるべきで、根っこの部分である研究はしっかり行わないと国全体の弱体化につながる。

●少子化が進んでいるが、例えば１０年前の学生に比べ今の学生の平均値というのは下がっているという実感はあるか。

●全体的なレベルは下がっていると感じる。上位はあまり変わらないレベルにあるが、下位のレベルが非常に下がっている。

●学力の問題もあるが、意欲や発達障害等の問題に対してかなりのエネルギーが費やされている。

●コミュニケーションに問題を抱えた学生がかなり入ってきており、そのような学生が１人でも研究室にいると多大な労力を要している。定員を減らすなど広い視点で議論が必要と思われる。

●研究に行き詰った学生や学位を認められない時等などのアドバイザリーボードのような制度は設けているのか。

●学生相談室を設置してケアを行っているが、専門性と規模が足りない状況にある。

●全学対象の学生相談所はオーバーフロー状態であり、各学部・研究科での対応が求められている。

●スタッフに対するメンタルケアはどうしているのか。

●所長と副所長が窓口になっており、また安全衛生委員会でも検討事項としている。

●留学生の受入を増加させていくことについてはどう考えているのか。

●東北大学もグローバル３０があるので積極的に増やしてはいきたいが、宿舎や奨学金等受入体制が追い付いていない状態である。

●大学が特許によりプラスの収支にするのは難しい。ＵＣバークレーでは費用や時間を費やさないよう、無償公開した経緯があるので参考にされるとよいのではないか。

委員長のまとめ

一点目は特許関係について、収支や従事する時間を考えるととても特許で収入を増加するのは難しく、特許事務所等の専門家の能力にもかかわってくることもある。

二点目はグローバル化を推進する際、新興国との産学連携やビジネスを行う人材が少ない現状があるので、そちらにも目を向けて人材育成を行って欲しい。

7．2　過去の運営協議会委員名簿（外部者のみ）

委　員　名	任期（年度）
相　磯　秀　夫	1998～1999
青　木　利　晴	2004～2007
青　野　正　和	2007～2009
秋　葉　重　幸	2010～現在
浅　井　彰二郎	2000～2003
浅　見　　徹	2004～2005
甘　利　俊　一	1996～2001
荒　川　泰　彦	2008～現在
有　信　睦　弘	2004～2007
飯　島　澄　男	2002～2003
飯　田　尚　志	2000
伊　賀　健　一	2004～2006
池　上　徹　彦	1996～1999
池　上　英　雄	1996～1999
池　田　克　夫	2000
石　井　健一郎	2002
一　村　信　吾	2010～現在
伊　藤　龍　男	2000～2001
今　井　秀　孝	2001
上　田　修　功	2010～現在
植之原　道　行	1994～1999
潮　田　資　勝	2010～現在
宇理須　恆　雄	1994～1995
榎　並　和　雅	2004～2005
江　村　克　己	2010～現在
大須賀　節　雄	1996～1999
太　田　賢　司	2009～現在
大　槻　幹　雄	1994～1995
大　星　公　二	2000
大　森　慎　吾	2006～2007
岡　部　洋　一	2002～2003
笠　見　昭　信	2000～2001
梶　村　皓　二	1998～1999
片　桐　　滋	2005～2007
久保田　啓　一	2008～現在
國　尾　武　光	2008～2009
久　間　和　生	2008～現在
児　玉　皓　雄	2000
後　藤　俊　夫	2002～2003
古　濱　洋　治	1995～1999
小　林　直　人	2004～2008
坂　内　正　夫	2000～2001 2006～現在

委　員　名	任期(年度)
榊　　裕　之	2004～2006
塩　見　　正	2001～2005
下　澤　楯　夫	2002～2003
進　藤　秀　一	2000～2001
管　村　　昇	2003～2004
武　市　正　人	2004～2007
田　中　英　彦	1994～1995
谷　岡　健　吉	2006～2007
谷　口　健　一	2001～2003
田　村　浩一郎	1995～1997
東海林　惠二郎	1994～1997
外　村　佳　伸	2008～2009
富　田　眞　治	2008～現在
富　永　昌　彦	2008～現在
中　村　道　治	1996～1999
長　尾　　眞	1994～1997
西　尾　章治郎	2008～現在
丹　羽　邦　彦	2008～現在
平　石　次　郎	1994
廣　田　榮　治	1996～1999
三　宅　　誠	2002～2003
山　崎　　攻	2000～2001
山　田　　宰	2000～2001
山　田　敏　之	1998～1999
横　山　直　樹	2002～2007
吉　田　　博	2007～現在
吉　村　和　幸	1994
渡　辺　久　恒	2000～2003

第 8 章　結　言

結　　言

全国“唯一のXX研究所”などとよく使いますが、元々附置研究所は大学の特色を生かしながらも、その研究分野に関してはオーバーラップのない組織を作り上げてきたもので、唯一（Only One）と言う言葉はそんなに力強く響きません。それは企業の研究所、国立・私学研究所などを含めますと競争相手は沢山あり、その中で一番（Number one）になるのは中々難しいからであります。しかしその中で、伝統と文化を生かして、大学特有の深い知識に根ざした次世代の産業基盤を作ることが附置研究所にとって大変重要に思います。

東北大学電気通信研究所は弱電から創始したデバイス研究の強い研究所ですが、今ではそれにソフトウェア部門を加え、デバイスからソフトウェアまで幅の広い研究を展開しております。昨年は新たなプログラムとして所長裁量経費より、「独創的研究支援プログラム」を設けました。これは、通研の将来を託せるような斬新でかつ将来性の高い萌芽的研究の促進が目的であり、助教や准教授など若手が飛躍することを期待するものであります。予算は１件につき年間５００万円で３年間支援を行うものであり、所としてこのような予算を執行していくことは大きな決断であります。昨年度は倍率の高い中２名の研究者を採択しており、今回の活動報告書にはそれら研究者からの中間報告も掲載しておりますのでご高覧頂ければ幸いです。

又、約３０近い研究室の研究交流を進めるべく昨年より「研究交流会」を始めています。４大研究部門や施設・センターの壁を越え、新たな形で研究促進が出来る事を目指したものであります。

これをお読みになって、「これでは新たな方向がよく見えない」とか、「これが面白いのでは」と言うようなご意見・ご提案を頂けましたなら望外の幸せであります。今後ともご指導・ご鞭撻の程、宜しくお願い申し上げます。

第１章　予算の概要

本研究所の予算の概要

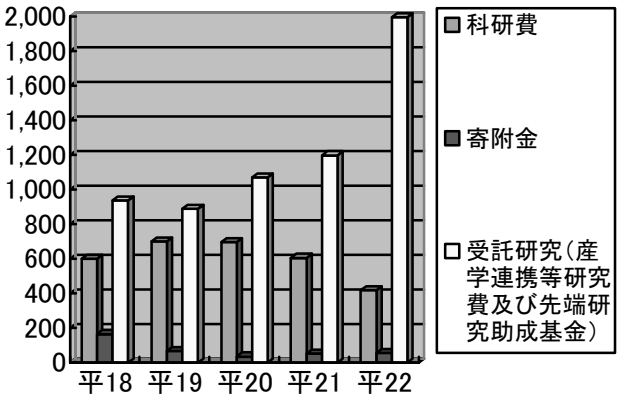
単位：千円

	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度
人　件　費	971,482	970,961	879,481	1,026,511	777,776
物　件　費	927,090	813,724	953,000	1,562,318	735,496
寄　附　金	163,591	64,818	34,265	51,954	55,085
共同利用研究施設運営費	35,893	35,833	34,722	34,675	38,520
施設整備費	0	0	185,000	760,000	0
その他物件費	727,606	713,073	699,013	715,689	641,891
産学連携等研究費	937,441	888,833	1,069,832	798,053	962,712
先端研究助成基金	0	0	0	400,440	1,034,827
計	2,836,013	2,673,518	2,902,313	3,787,322	3,510,811
科学研究費補助金	599,040	700,615	694,883	605,100	418,680
合　計	(1,700,072) 3,435,053	(1,654,266) 3,374,133	(1,798,980) 3,597,196	(1,855,547) 4,392,422	(2,471,304) 3,929,491

※その他物件費は、経常的な物件費及び各種旅費を計上。

※合計欄の上段（　）書きは競争的研究資金の合計で内数。

本研究所の過去 5 年間の予算は上の表に示したとおりである。この内容を平成 22 年度について大まかに分析すると、その他物件費約 6.4 億円の中の 1.9 億円がナノ・スピン実験施設の維持運営費、0.9 億円が IT２１センターの維持運営費、1.1 億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、1.4 億円が営繕費・その他の経費であり、この外、各研究分野で研究費として使用した経費としては、大学運営資金として 1.1 億円であった。各研究分野に配分された研究費（1.1 億円）に、科学研究費補助金 4.2 億円、寄附金 0.6 億円、産学連携等研究費 9.6 億円、及び先端研究助成基金 10.3 億円を加えた総額 25.8 億円が直接の研究経費として各研究分野で使用された。直接研究経費に占める大学運営資金の割合は 4.3%である。平成 21 年度の直接研究費総額は 19.9 億円で、平成 22 年度は対前年度比約 29.6%の増加となっている。これは、産学連携等研究費及び先端研究助成基金の増加によるもので、最先端研究開発支援プログラムをはじめとする多くのプロジェクト研究の受け入れによるものである。受託研究、科学研究費補助金、寄附金等による外部資金の導入は、本研究所の研究活動を一層充実させるために不可欠であるとともに、研究所の活性度を反映する指標でもあると考えられる。右に示した過去 5 年間のグラフに見るように、これら 3 種の予算は年度により若干の増減があるものの高い水準を維持している。特に受託研究については、提案型受託研究及びプロジェクト型研究の増加によるところが大きく、本研究所の全国共同利用・共同研究拠点としての活性度、また、その役割の重要性が更に増していることの証であると考えられる。



１．１　競争的資金の獲得状況

１．科学研究費補助金及び助成金

（１）科学研究費補助金

・文部科学省（日本学術振興会含む）

研究代表者　　単位：千円

研究種目	氏　名	2010年度交付金額	補助金総額	研　究　課　題　名	採択年度
特別推進研究	長　康雄	57,720	204,200	非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録	2006
	鈴木 陽一	102,310	348,000	マルチモーダル感覚情報の時空間統合	2007
特定領域研究	白井 正文	3,500	15,800	高効率スピン源の理論設計	2007
	大野 裕三	9,700	43,500	半導体量子構造における核スピンの光制御・検出	2007
	大野 裕三	2,900	12,600	スピン流と光物性調整班	2007
新学術領域研究	小坂 英男	5,590	8,600	光子と電子の動的スピン量子相関	2009
	坂本　一寛	5,330	8,300	行動指令の動的生成機構としての前頭葉興奮性・抑制性神経細胞の機能分化と相互作用	2010
基盤研究(S)	尾辻 泰一	13,390	101,300	低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路の研究	2006
	中沢 正隆	34,970	141,500	繰り返しと光周波数を同時安定化したGHz帯モード同期パルスレーザの実現とその応用	2009
基盤研究(A)	庭野 道夫	9,230	38,900	非標識バイオ計測を目指した3次元表面ナノ構造設計	2008
	坪内 和夫	7,150	35,800	超高速無線通信制御用DSPの開発	2008
	小坂 英男	12,740	36,200	半導体量子ドットにおける単一電子スピン状態のトモグラフィ測定と任意光制御	2009

単位：千円

研究種目	氏　名	2010年度交付金額	補助金総額	研　究　課　題　名	採択年度
基盤研究(A)	枝松　圭一	32,240	36,600	光子・固体間の単一光子レベル非線形相互作用を介した量子演算素子の開発	2010
基盤研究(B)	松倉　文礼	3,510	14,300	強磁性半導体中の電流誘起磁壁移動	2008
	玉田　薫	4,940	14,900	プラズモニックナノシート:ナノ近接場界面の創出と応用探索	2009
	木村 康男	3,510	15,000	陽極酸化セルフアライン室温動作単電子トランジスタ	2009
	栗木 一郎	5,980	14,400	視覚情報の脳内での分離・統合に関する研究	2009
	末光 眞希	1,430	15,100	Si（110）表面ステップ挙動の解明とSi上グラフェンナノリボンの自己組織的形成	2009
	吉田 真人	8,710	13,300	1．1μm帯VCSELを用いたパルス光源技術および高速光伝送技術に関する研究	2009
	塩入　諭	11,960	15,100	並列運動視処理の機能と役割	2010
	上原　洋一	12,090	14,900	個々の表面半導体ナノ構造のフォノン寿命時間計測	2010
	白井　正文	7,020	13,900	磁性体／誘導体ハイブリッド不揮発性メモリの理論設計	2010
	羽生　貴弘	3,510	14,000	不揮発性素子を用いたPVTバラつきフリーVLSIシステムの基盤研究	2010
基盤研究(C)	青戸 等人	910	2,800	リップリング法と書き換え帰納法を融合した定理自動証明法の研究	2008
	岩谷 幸雄	1,300	3,500	インタラクティブ音空間システムの構築	2008
	牧野 梯也	910	2,400	時間次元を用いた匂い情報表現:濃度不変性と分類の時間一精度トレードオフ	2009

予算の概要

単位：千円

研究種目	氏　名	2010年度 交付金額	補助金総額	研　究　課　題　名	採択年度
基盤研究(C)	沢田　浩和	1,300	3,600	ミリ波 Vehicle Area Network(VAN)伝送技術の研究	2009
	外山　芳人	1,040	2,800	書き換えシステムの合流性自動判定法の研究	2010
	大堀　　淳	1,170	2,900	証明論に基づくコンパイラの系統的な構築法の研究	2010
	木下　哲男	1,040	3,200	エージェント組織の状態推測型動作制御機構に関する研究	2010
	坂本　一寛	1,430	3,100	ゲーム遂行における行動の階層的脳内表現と臨床応用	2010
挑戦的 萌芽研究	庭野　道夫	2,500	3,200	自立型脂質二分子膜に基づくシグナルチャネル操作法の開発	2010
若手研究(S)	廣岡　俊彦	19,500	76,900	超高速光パラボラパルスの発生と光伝送・信号処理への応用	2009
若手研究(B)	小野美　武	1,040	2,600	単一磁束量子論理回路によるストカスティック論理ニューロ演算のハードウェア化	2008
	山末　耕平	780	3,300	ダイナミックモード原子力間力顕微鏡におけるカンチレバーの非線形振動制御	2008
	夏井　雅典	1,690	3,300	製造ばらつきフリー高信頼多値 VLSI の系統的設計法の構築	2009
	松宮　一道	650	3,600	異種感覚情報による手の操作機構	2009
	寺本　　渉	1,040	3,100	広視野視覚運動情報によって形成される聴覚空間の歪みの検証	2009
	平永　良臣	1,560	3,400	次世代超高密度記録デバイスのための非線形誘電率顕微鏡による強誘電体薄膜のナノ計測	2009

単位：千円

研究種目	氏　　名	2010年度 交付金額	補助金総額	研　　究　　課　　題　　名	採択年度
若手研究(B)	北形　元	3,120	3,200	多様なセキュリティレベルを包括するユーザー・サイト認証法に関する基礎的研究	2010
	徳永　留美	2,470	3,100	背景色と証明色の変化に伴う液体の色知覚変化についての包括的測定とモデル化	2010
	小林　まおり	2,990	3,200	聴覚的補完における予測モデルの形成	2010
	三浦　良雄	2,080	3,200	強磁性体／半導体界面における結晶磁気異方性電界効果に関する理論研究	2010
研究活動スタート支援	青沼　有紀	1,430	1,950	赤外分光を用いた骨系細胞の力学応答現象計測	2010

2. 受託研究費

研究代表者

単位：千円

機関名	氏名	研究課題	2010年度研究費
(財) みやぎ産業振興機構 (戦略的基盤技術高度化支援事業)	桝井 昇一	自律型ロボット用高性能ADコンバータデジタルアシストの研究開発	393
(株) ムサシノエンジニアリング	島津 武仁	電子部品､デバイスの真空気密封止を行う為の室温原子拡散接合技術の開発	3,390
(独) 情報通信研究機構	岩谷 幸雄	革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発	3,003
(独) 情報通信研究機構	鈴木 陽一	革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発	939
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	松本 敦	ネットワークオンチップ構成における多値・非同期式ネットワークに関する研究	20,994
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	坪内 和夫	オールSi CMOS RFデバイス・回路の開発	96,850
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	尾辻 泰一	グラフェン・オン・シリコン (GOS) デバイスならびにプラズモン共鳴型GOS (PRGOS) テラヘルツデバイス技術の開発	24,943
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	末光 眞希	グラフェン・オン・シリコン (GOS) プロセス技術の開発	19,431
(独) 科学技術振興機構 (戦略的国際科学技術協力推進事業)	大野 裕三	強磁性体／半導体接合からなる面内スピンバルブにおける効率的なスピン電圧／電流の生成	4,450
文部科学省 (次世代IT・JST)	村岡 裕明	高機能・超低消費電力スピンデバイス・ストレージ基盤技術の開発	135,887

単位：千円

機　関　名	氏　　名	研　　究　　課　　題	2010 年度 研究費
（独）科学技術振興機構 （企業研究者活用事業・JST）	玉田　薫	トップダウン／ボトムアップ融合による次世代プラズモンセンサの開発	5,179
（独）科学技術振興機構 （育成研究・JST）	加藤 修三	携帯端末に搭載可能な超高速通信用ミリ波ビームフォーミングアンテナの研究開発	35,830
住友電気工業（株） 伝送デバイス研究所	大野 英男	中赤外域　量子カスケードレーザの評価、解析技術に関する委託研究	1,050
（独）科学技術振興機構 （国際科学技術協力推進事業「共同研究型」・JST）	尾辻 泰一	超高速テラヘルツ無線通信のためのプラズモニック光源・変調デバイスの開発	19,500
（独）科学技術振興機構 （国際科学技術協力推進事業「共同研究型」・JST）	大野 裕三	半導体量子構造におけるスピン流の生成・検出と電子・核スピンダイナミクスの解明	12,538
（独）日本学術振興会	中沢 正隆	超高速光通信に関する拠点形成	18,700
TDK(株)テクノロジーグループ SQ 研究所	村岡 裕明	熱アシスト記録における記録・再生磁化過程に関する研究	3,000
（株）富士通研究所	長　康雄	走査型非線形誘電率顕微鏡技術	1,500
国土交通省 国土技術政策総合研究所	犬竹 正明	リアルタイム画像生成合成開口レーダの実用化に関する技術開発	18,000
総務省 （電波資源拡大のための研究開発）	加藤 修三	超高速近距離無線伝送技術等の研究開発	40,000
総務省 （ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業）	白鳥 則郎	宮城県栗原市における通信プロトルコ等検証のための地域実証	256,904
大学共同利用機関法人情報・システム研究機構	小坂 英男	スピンを介したエンタングルメント通信の基礎実験	8,745

予算の概要

単位：千円

機　関　名	氏　　名	研　　究　　課　　題	2010 年度 研究費
総務省 （戦略的情報通信研究開発推進制度）	坂本 修一	軸対称型収音装置を用いた高精度・高感性バーチャル音空間創成システムの構築	10,418
総務省 （戦略的情報通信研究開発推進制度）	石山 和志	ガーネットを利用した高分解能高周波磁界測定システムの開発	16,062
総務省 （戦略的情報通信研究開発推進制度）	小坂 英男	室温固体素子を用いた量子中継器実現へ向けた研究開発	14,088
（独）科学技術振興機構 （戦略的創造研究推進事業）	塩入　諭	歩行と注意	12,350
古河電気工業（株）	吉田 真人	革新的光ファイバ技術の研究開発	12,479
（独）科学技術振興機構 （研究成果最適展開支援事業）	足立 榮希	減色混合による「色指示物質センサー」のユニバーサルデザイン化	1,300
（財）みやぎ産業振興機構 （戦略的基盤技術高度化支援事業）	桝井 昇一	高信頼性デジタルアシストADコンバータの研究開発	2,932

３．民間との共同研究

〈研究経費あり〉

単位：千円

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2010年度 研究費
トヨタ自動車(株)	塩入　諭	高齢者の認知能力を向上させるHMI技術の研究	28,856
ソニー(株) コアデバイス開発本部	塩入　諭	奥行き知覚の定量化及びモデル化に関する研究	12,688
(独)科学技術振興機構	枝松　圭一	多光子波束による物質の非線形光学応答	2,290
日本電信電話(株) マイクロシステムインテグレーション研究所	枝松　圭一	革新的量子光源の研究開発	1,650
日本電信電話(株) フォトニクス研究所	八坂　洋	半導体光デバイス高性能化の研究	3,300
(株)富士通研究所	桝井　昇一	Mixed-Signal Platformの研究	10,000
シャープ(株)	庭野　道夫	タンパク質検出に関する技術開発	1,500
日本電信電話(株)) サイバースペース研究所	鈴木　陽一	音源の質感まで表現可能な高精細音響システムに関する研究	2,970
(株)日立製作所中央研究所	村岡　裕明	次世代情報ストレージの研究	2,400
東北電力	玉田　薫	SPRによる塩分検出	2,100
(株)日立製作所基礎研究所	大野　英男	強磁性体を応用したスピンデバイスの研究	5,250
三菱電機(株) 情報技術総合研究所	坪内　和夫	ディペンダブルワイヤレスに関する研究	14,500
日本電気(株) システムIPコア研究所	坪内　和夫	ミリ波通信用ヘテロ素子アンテナの研究開発	1,575
沖電気工業(株) 研究開発センタ	北村　喜文	空間／集団状況制御に関する研究	525
(株)日立国際電気 研究開発本部半導体装置システム研究所	室田　淳一	次世代Epi成膜技術の開発	1,000
(株)富士通研究所	中沢　正隆	超高速光信号処理技術	3,000

予算の概要

単位：千円

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2010年度 研究費
(株)アドバンテスト研究所	中沢　正隆	パルスレーザの研究	10,000
(株)京三製作所	加藤　修三	ミリ波センサシステムの開発	8,800
日本電気(株) システムプラットフォーム研究所	矢野　雅文	先端理論のコンピューティングへの適用方法の研究	2,625
京セラキンセキ(株)	島津　武仁	水晶デバイス用接合技術の開発	4,847
富士電機システムズ(株)	島津　武仁	原子拡散接合による電子デバイスの高性能化に関する研究	1,000
富士電機デバイステクノロジー(株)	島津　武仁	強磁性微粒子の形成と基礎評価に関する基礎研究	1,210
エム・イー・エス・アフティ(株)	室田　淳一	ECR成膜法によるIV族半導体薄膜の形成	736

〈研究経費なし〉

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2010年度 研究費
(独)産業技術総合研究所	上原　洋一	ストレージ材料のナノスケール光電子物性評価法の確立	－
(独)産業技術総合研究所	枝松　圭一	超伝導光検出技術の量子情報デバイスへの応用と微弱光計測標準技術の構築	－
(独)産業技術総合研究所	岩谷　幸雄	ロボットのための仮想音空間生成に関する研究	－
(独)情報通信研究機構	石山　和志	EMC対策のための高周波磁界プローブ開発技術	－
(財)国際超電導産業技術研究センター (独)産業技術総合研究所	中島　康治	SFQ知的信号処理集積回路の構成研究	－
セイコーエプソン(株)	玉田　薫	トップダウン/ボトムアップ融合による次世代プラズモンセンサの開発	－

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2010 年度 研究費
日本電信電話(株) NTT 未来ねっと研究所 ワイヤレスシステムイノベーション研究部	桝井　昇一	フレキシブルワイヤレスシステム用 CMOS 無線送受信回路の研究	−
(独)日本原子力研究開発機構 国立大学法人　弘前大学	末光　眞希	リアルタイム放射光光電子分光を用いたグラフェン形成過程のカイネティクス	−
(独)産業技術総合研究所 (独)日本原子力研究開発機構	末光　眞希	次世代半導体デバイスへの応用に向けた基礎材料に関する研究	−
(独)産業技術総合研究所	末光　眞希	IV 族系ナノ構造材料に関する研究	−
(独)産業技術総合研究所	大野　英男	省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の実証に関する研究	−
(独)産業技術総合研究所	中沢　正隆	Cs 光原子時計に関する研究	−

〈民間等共同研究員〉

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2010 年度 研究料
アルプス電気(株)	庭野　道夫	新規酸化チタン材料の製造技術開発	210
(株)半一	庭野　道夫	半導体デバイス材料の特性評価	210
田中貴金属工業(株)	島津　武仁	高磁気異方性規則合金薄膜の低温形成と電子デバイスへの応用	210
NEC トーキン(株)	末光　眞希	電子材料における有機構造解析に関する研究	420
日本ユニサンティスエレクトロニクス(株)	犬竹　正明	高集積回路に関する研究	420

１．２　非常勤研究員経費

単位：千円

事　　項	実　績　額	備　　考
非常勤研究員経費	２７，１９９	受入人数　　６名

１．３　奨学寄附金の受け入れ

ＡＯＡＲＤ：アジア宇宙航空研究開発事務所／ＡＦＯＳＲ：米国空軍科学技術局 アルプス電気（株） 栢森情報科学振興財団 （株）Ｗａｖｅ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ （株）アドバンテスト研究所 （株）エヌ・ティ・ティ・ドコモ （株）半一 （財）電気通信工学振興会 （財）村田学術振興財団 ジーエヌエス（有） 情報ストレージ研究推進機構 SRC 新日本製鐵（株）技術開発本部　鉄鋼研究所 積水化学工業（株）P2 事業推進部 積水化学工業（株）R&D センター タカノ（株） 中央電子（株） 東日本電信電話（株） 日立電線（株）技術本部 電子情報通信学会　短距離無線通信研究会	
計	２３件　　５５，０８４，９００円

第２章　研究・学会活動状況

２．１　国際活動

区　　分		2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度	合　計
海外派遣状況（人数）		２３６	１５７	１３４	１７０	２１９	９１６
国際的研究集会・学会等での招待講演者数　（人数）		５４	７４	７６	１１２	９７	４１３
国際共同研究の実施状況（件数）		２２	３３	４１	３９	３６	１７１
外国人研究者の来訪状況（人数）	１か月以上滞在	8	3	4	3	0	１８
	１週間以上１か月未満	１３	5	8	7	6	３９
外国人客員研究員の受入状況（人数）		2	3	1	2	0	8
外国人教員の受入状況[客員教授・客員准教授]（人数）		5	2	5	１０	7	２９

２．２　発表論文数

区　　分	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度	合　計
掲載された論文数 学　会　誌	２０８	１６３	１８９	１９２	１９０	９４２
国際会議議事録等	２３３	２６６	２５６	２３９	２３６	１，２３０

２．３　学会役員一覧（2006～2010年度）

国内学会

学　会　名	役　職　名	任　　期	氏　名
映像情報メディア学会	名誉会員	―	中村　慶久
日本磁気学会	名誉会員	2006.5～現在	中村　慶久
日本音響学会	会長	2005.5～2007.5	鈴木　陽一
日本視覚学会	会長	2007～2009	塩入　　諭
情報処理学会	会長	2009～2011	白鳥　則郎
日本音響学会	理事	2001～現在	鈴木　陽一
日本騒音制御工学会	理事	2000.5～2008.5	鈴木　陽一
日本表面科学会	理事	2006～2009	玉田　　薫
日本神経回路学会	理事	2009～現在	中島　康治
電気学会	理事	2010～現在	中島　康治
日本磁気学会	理事	2009～現在	村岡　裕明
電子情報通信学会	理事	2009～2010	中沢　正隆
エレクトロニクス実装学会	理事	2010～	末松　憲治
日本バーチャルリアリティ学会	理事	2008～現在	北村　喜文
応用物理学会有機分子バイオエレクトロニクス分科会	副幹事長	2010～現在	玉田　　薫
日本騒音制御工学会	評議員	2004.5～2008.5	鈴木　陽一
レーザー学会	評議員	2003.6～現在	伊藤　弘昌
応用物理学会	評議員	1999～2007	伊藤　弘昌
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2006～現在	鈴木　陽一
応用物理学会	評議員	2008～現在	庭野　道夫
日本表面科学会	評議員	2001～2007	庭野　道夫
日本物理学会	評議員	2010～現在	庭野　道夫
日本表面科学会	評議員	2010～現在	庭野　道夫
映像情報メディア学会	評議員	2005.4～2007.6	沼澤　潤二
日本磁気学会	評議員	2007～現在	石山　和志
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2006.4～現在	鈴木　陽一
日本ソフトウェア科学会	評議員	2004～現在	大堀　　淳
プラズマ核融合学会	評議員	2006～2008	犬竹　正明
日本音響学会	評議員	2008～現在	岩谷　幸雄
ヒューマンインターフェース学会	評議員	2007～現在	北村　喜文
映像情報メディア学会	諮問評議委員	2007～現在	青木　輝勝

国際学会

学　会　名	役　職　名	任　　期	氏　名
IEEE Computer Society	Vice Chair, Technical Committee on Multiple-Valued Logic	1999.6～現在	羽生　貴弘
IEEE Magnetic Society	Distinguished Lecturer	2009.1～12	大野　英男
IEEE Sendai Section	Chair	2006～2007	水野　皓司
IEEE Sendai Section	Secretary	2006～2007	中沢　正隆
IRMMW-THz (International Conference on Infrared and Millimeterwaves-THz Electronics)	Chair, IOC	2006～2008	水野　皓司
Optical Society of America	Board of Director at large	2007～	中沢　正隆
IEEE Magnetic Society	Administration Committee	2011～現在	村岡　裕明

２．４　外国の大学等との学術交流協定締結一覧

１．部局間協定

代表者	協定校		協定締結年月日	研究課題	協定の主な内容					更新状況
	国名	研究機関名			学生の交流	刊行物の交換	研究指導	共同研究の実施	教官等の交流	
教授 津屋　昇	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー 物理学研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究		○	○	○	○	継続
教授 沢田康次	アメリカ	シカゴ大学 ジェームス･フランク研究所	1987.4.27	カオスと乱流		○		○	○	失効
教授 曽根敏夫	タイ	チュラロンコン大学 理学部	1987.4.28	都市騒音の実態と住民への影響に関する計測と評価の国際比較による研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	中国	ハルピン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究		○		○	○	失効
教授 水野皓司	イギリス	ロンドン大学 クイーンメアリー･ウェストフィールドカレッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の測定に関する研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	中国	深圳大学科研処	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェースとエージェントの知的化		○		○	○	失効
教授 山下　努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子に関する研究	○	○		○	○	失効
教授 山下　努	ロシア	ロシア科学アカデミー通信電子工学研究所	1998.2.23	超伝電子通信デバイスの研究	○	○		○	○	失効
教授 山下　努	中国	南京大学 電子科学技術系	1998.4.16	超伝導ミリ波･サブミリ波デバイスの研究	○	○		○	○	失効
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 情報通信工学部	1998.11.6	ニューラルネットワークと知的情報処理に関する研究	○	○		○	○	失効
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー（IHP）	2000.1.22	IV族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスに関する研究		○		○	○	継続
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 マルセイユナノサイエンス学際センター	2005.10.24	半導体表面・界面制御結晶成長の基礎と応用の研究		○		○	○	継続

教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子およびスピントロニクスの基礎と応用の研究		○		○	○	継続
教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネットワーク研究所 （WINLAB）	2009.12.8	超高速屋内ブロードバンド無線通信システムの研究	○			○	○	継続
教授 室田淳一	スペイン	ビゴ大学	2011.2.25	電気通信研究所ナノ・スピン実験施設をナノエレクトロニクス国際共同拠点としていく	○	○		○	○	新規

２．大学間協定

代表者	国名	協定校	協定締結年月日	目標	協定締結のねらい					更新状況
					共同研究の促進	学生・教職員交流	国際貢献	地域連携	その他	
教授 大野英男	アメリカ	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	1990.3.15	ナノエレクトロニクス・スピントロニクス分野および先端材料分野において国際共同研究を推進する	○	○				継続
教授 白鳥則郎	タイ	キングモンクット工科大学　ラカバン校	2004.4.15	共同教育プログラムの推進、学生交流及び共同研究の推進	○	○				継続
教授 村岡裕明	イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	文化、教育及び科学技術上の交流の促進	○	○	○			継続
教授 伊藤弘昌	ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を活発に行う	○	○				継続
教授 室田淳一	ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を積極的に行う	○	○	○			継続
教授 白鳥則郎 鈴木陽一	台湾	国立清華大学	2009.12.2	毎年数名の教員・学生の相互訪問により、共同研究を促進する	○	○				継続
教授 白鳥則郎	フランス	コンピエンヌ工科大学	2010.3.15	共同研究を活性化させ、研究者交流と学生交流を活発に実施する	○	○				継続
教授 大野英男	アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	共同研究を推進し、教職員の交流を積極的に行う	○	○				新規

２．５　学振特別研究員及び研究所研究員

日本学術振興会特別研究員

氏名	任用期間	研究内容
内海　哲史	H21.4.1～H23.3.31	衛星ネットワークにおける新しいＥｎｄ－ｔｏ－Ｅｎｄ輻輳制御に関する研究
葛西　恵介	H21.4.1～H24.3.31	高い周波数利用効率を有する大容量ＱＡＭコヒーレント光伝送に関する研究
和泉　諭	H21.4.1～H24.3.31	ポスト・ユビキタス情報環境を目指した共生型知識処理基盤技術に関する研究
小野　真証	H21.4.1～H24.3.31	半導体における核スピンコヒーレンスの制御に関する研究
遠藤　将起	H21.4.1～H24.3.31	強磁性半導体の物性と電界効果素子応用に関する研究
浅川　香	H21.4.1～H23.3.31	視聴覚音声情報の時空間相互作用に関する認知科学的研究
稲垣　卓弘	H22.4.1～H24.3.31	磁気光学効果による半導体量子井戸中の電子スピン状態トモグラフィ測定
藪野　正裕	H22.4.1～H24.3.31	超伝導転移端センサを用いた光子数識別器の開発とシュレーディンガーの猫状態の生成
金　　性勲	H22.4.1～H24.3.31	機能性医療用マイクロロボットシステムの開発
関　　鵬宇	H22.4.1～H24.3.31	超高速光通信技術に関する研究
柏瀬　啓起	H22.4.1～H24.3.31	定常的視覚誘発電位による視覚的注意の時空間特性の検討

教育研究支援者

氏名	任用期間	研究内容
犬竹　正明	H22.4.1～H23.3.31	民生用合成開口レーダの開発
多田　順次	H22.4.1～H23.3.31	次世代のグローバル･ユビキタス情報通信技術の開発を推進するため、ハード・ソフト両面の研究を融合し、システム化を図る
長田　俊明	H22.4.1～H22.9.30	やわらかい情報処理の概念に基づくネットワークシステムの高度な保守・管理・運用に関する研究開発
目黒　敏靖	H22.4.1～H23.3.31	電子ビーム露光によるレジスト等有機材料の高精度･極微細パターン形成
高橋　秀幸	H22.4.1～H22.8.31	グリーンネットワークの構成やエージェント技術を活用したネットワークセキュリティシステムの研究開発
吉田　晃人	H22.4.1～H23.3.31	局在プラズモン共鳴を利用したナノエレクトロンクスデバイスの研究開発
坪内　和夫	H22.4.1～H22.9.30	JST CREST「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」プログラムに関する研究統括
Illani Mohd Nawi	H22.6.1～H23.3.31	Mixed-Signal Plat Form　研究の加速
Johan Leif Arne SVEHOLM	H23.1.1～H23.3.31	やわらかい情報処理の概念に基づくネットワークシステムの高度な保守・管理・運用に関する研究開発

外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
Chakaraborty Debasish	H22.4.1～H23.3.31	ダイナミックネットワーク技術の研究開発
Sergey Filimonov	H22.4.1～H22.5.31	超低圧ＣＶＤによる Si 上 SiC 成長の理論的研究
Chiussi Stefano	H22.6.1～H22.7.30	Ⅳ族半導体原子制御プロセスに関する研究
Jander Albrecht	H22.8.24～H22.9.23	スピントロニクス素子とその応用に関する研究
Dhagat Pallavi	H22.9.6～H22.9.23	スピントロニクス素子とその応用に関する研究
Vyurkov Vladimir	H22.9.20～H22.11.10	ナノ･ヘテロ構造半導体デバイスの量子物理モデリングに関する研究
Kim Eun Kyoung	H22.10.15～H22.12.15	金属ナノ微粒子･導電性高分子ハイブリッド材料のナノエレクトロニクスデバイス応用に関する研究
Jamali Pour Abbas	H22.9.16～H22.12.14	超ブロードバンド無線通信ネットワークに関する研究

２．６　特別研究員・大学院生の受入状況

区　　分	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度	合　計
特 別 研 究 員	7	5	7	１１	１１	４１
大　学　院　生	２２５	１９４	２００	１８５	１８７	９９１

２．７　広報状況と情報公開

開催行事

1．電気通信研究所国際シンポジウム 「グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム」 2nd RIEC International Symposium on Graphene Devices（ISGD 2010）	2010 年 10 月 27 日(水)～29 日(金)
2．電気通信研究所国際シンポジウム 「第９回日韓表面ナノ構造シンポジウム」 9th Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructures（JKSSN9）	2009 年 11 月 15 日(月)～16 日（火）
3．電気通信研究所国際シンポジウム 「第７回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ」 The 7th RIEC International Workshop on Spintronics	2011 年 2 月 3 日(木)～8 月 5 日(金)
4．電気通信研究所工学研究会	随時
5．電気通信研究所産学官フォーラム	2010 年 11 月 17 日（水）
6．電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会	2010 年 12 月　1 日（水）

出版物

1．電気通信研究所要覧（和文・英文）	年１回発行
2．電気通信研究所研究活動報告（和文･英文）	年１回発行
3．東北大学電通談話会記録	年２回発行
4．ナノ・スピン実験施設研究報告書	年１回発行
5．電気通信研究所ニュースレター（RIEC　NEWS）	創刊号発行

その他

1．電気通信研究所ホームページ	公開中
2．電気通信研究所総覧 Web 公開	公開中
3．電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中

第３章　論文題目

３．１　修士論文

電気・通信工学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
非同期ネットワークオンチップの評価環境構築に関する研究	船崎　智義	羽生　貴弘
最適電流量プリプログラミング機構を有する低消費電力電流モード多値回路とその応用に関する研究	有光　貴志	羽生　貴弘
曲率を用いた形態表現のための神経回路モデルに関する研究	伊藤　岳大	羽生　貴弘
磁気光学材料を用いた磁界計測手法に関する研究	那須野　弘	石山　和志
シングルトラック記録方式のトラック密度向上に関する研究	山本　衛史	村岡　裕明
Ｃｓ光原子時計の光周波数安定化に関する研究	森崎　貴仁	中沢　正隆
超短光パルスを用いたテラビット／秒光伝送に関する研究	平野　敏行	中沢　正隆
超多値コヒーレントQAM光伝送に関する研究	岡本　聖司	中沢　正隆
コヒーレント多値光伝送用PLL回路に関する研究	王　　怡昕	中沢　正隆
プラズモン共鳴を利用したテラヘルツ帯注入同期発振に関する研究	渡辺　隆之	尾辻　泰一
グラフェンチャネルトランジスタのプロセス技術および電気的特性に関する研究	久保　真人	尾辻　泰一
高電子移動度トランジスタ高速化のためのプロセス技術に関する研究	赤川　啓介	尾辻　泰一
Fractional-N周波シンセサイザの解析と設計	徐　祖乐	桝井　昇一
Mixed-Signal Platform構築のための設計最適化とDigital-Assist技術の研究	小西　貴之	桝井　昇一
gm/ID Lookup Table法に基づくOTA (Operational Transconductance Amplifier)高精度最適化設計の研究	樫村　　透	桝井　昇一
CMOS技術を利用した不揮発フリップフロップの設計とFractional-N PLL周波数シンセサイザへの応用の研究	王　　戈	桝井　昇一
gm/ID Lookup Table法に基づくMOSトランジスタSPICEモデル検証とその応用に関する研究	稲津　賢治	桝井　昇一
シングルキャリア／マルチキャリアハイブリッド無線通信ネットワークの研究	富田　俊輔	末松　憲治
ディペンダブル無線通信端末用ADCの高精度化の研究	安藤　　桂	末松　憲治

電子工学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
光パルス対による半導体電子スピンコヒーレンスの生成	伊澤　史成	枝松　圭一
高度歪 CVD Ⅳ族半導体薄膜の電子物性に関する研究	田中　　拓	室田　淳一
CVD による歪Ⅳ族半導体エピタキシャル成長に関する研究	長谷川二郎	室田　淳一
プラズマ原子層ドーピングによるⅣ族半導体の高キャリア濃度化に関する研究	神原　健司	室田　淳一
走査型トンネル顕微鏡発光分光によるフォノン計測	渡邉　彰太	上原　洋一
垂直磁気異方性電極を用いた磁気トンネル接合に関する研究	水沼広太朗	大野　英男
強磁性半導体超格子構造における磁気異方性に関する研究	南山　亮太	大野　英男
半導体量子井戸構造における核四重極相互作用の歪・電界制御とその光検出	佐藤　源輝	大野　英男
強磁性金属／半導体接合における電気的スピン注入とその検出	小林　裕臣	大野　英男
強磁性共鳴法による強磁性薄膜のダンピング定数の評価に関する研究	小池　　奨	大野　英男
強誘電体ハードディスクドライブを用いた記録再生に関する研究	木本　康宏	長　　康雄
強誘電体記録におけるディスクリート媒体に関する基礎的研究	隅山　直樹	長　　康雄
陽極酸化によるサイドゲート型単一電子トランジスタの作製に関する研究	水野　徳夫	庭野　道夫
脳神経回路のシミュレーションに関する研究	桜井伊知郎	庭野　道夫
酸化チタンナノチューブ膜の形成と応用に関する研究	小島　領太	庭野　道夫
電気化学的手法による金属微粒子形成に関する研究	EL FASSY FIHRY, MEHDI	庭野　道夫
遷移金属多層膜の電子状態と磁気異方性に関する理論研究	栗原　恭志	白井　正文
表面プラズモン共鳴を用いたテラヘルツ波制御デバイスの研究	野村　祐蔵	八坂　　洋
Si 基板上 3C-SiC 薄膜の熱改質によるエピタキシャルグラフェン形成過程と電子構造評価	高橋　良太	末光　眞希
グラフェン・オン・シリコンプロセスの表面化学と高品質化に関する研究	阿部　峻佑	末光　眞希
パルス電界大気圧プラズマのグラフェン堆積応用に関する研究	中西　国博	末光　眞希
表面プラズモン共鳴現象を用いた蛍光発光増強効果に関する研究	小原　大輝	玉田　　薫
銀ナノ微粒子シートを用いた酸化チタンの非接触触媒活性の評価	中田　武志	玉田　　薫

論文題目

3次元積層縦型構造不揮発性メモリの高性能化に関する研究	徐　　文植	遠藤　哲郎
MTJ/CMOS hybrid回路の高速安定動作に関する研究	伊賀　文崇	遠藤　哲郎

情報基礎科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
木オートマトンを用いた停止性自動判定法	鈴木　貴志	外山　芳人
項書き換えシステムの計算ステップ数について	磯部　耕己	外山　芳人
柔軟な照合機構を備えたパターンを用いたプログラム変換	大川　雄哉	外山　芳人
３次元活動空間における認証ソーシャルウェアの研究	川人　彰文	木下　哲男
メッセージフローに基づく協働関係の抽出に関する研究	岡野　光祐	木下　哲男
リポジトリ型エージェントフレームワークにおける協調プロトルコ設計法に関する研究	魏　　文鵬	木下　哲男
分散環境におけるサービス情報の収集・管理に関する研究	有馬　　亮	木下　哲男
共生型３次元仮想空間における共生感提供機能に関する研究	野口　博司	木下　哲男
研究活動支援のための能動的情報資源管理手法	三浦　良介	木下　哲男
能動的情報資源の連携によるネットワーク状態監視に関する研究	前田　　哲	木下　哲男

システム情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
生存区間を変数名とするコンパイラ中間言語の研究	高橋　和将	大堀　　淳
コンパイラの内部機能を利用したプログラム開発環境の構築	齋藤　啓太	大堀　　淳
オブジェクトを移動させない新しいGC方式の研究	大友　聡顕	大堀　　淳
関数型言語におけるゲームプログラミング環境の開発	松島　勇介	大堀　　淳
簡単3DCG制作のための高精度スケルトン生成手法に関する研究	今野　　瞳	北村　喜文
不均一分散スピーカーアレイによる高次アンビソニックス音場再生法	JORGE ALBERTO TREVINO LOPES	鈴木　陽一
回転ベクションに聴覚刺激が及ぼす影響に関する研究	柳生　寛幸	鈴木　陽一
空間知覚における前庭情報と聴覚情報の相互関係に関する研究	古根　史雅	鈴木　陽一
頭部運動を伴う音空間知覚に関する研究	池田　善敬	鈴木　陽一
大域的な特徴を考慮した視覚的注意モデルの研究	真下　浩平	塩入　　諭

脳活動の分類解析による視覚情報の知覚的結合に関する研究	中村　慎吾	塩入　　諭
輝度運動および色運動の知覚に与える眼球運動の影響	瀬川　大貴	塩入　　諭
視覚探索における時空間配列の文脈手がかり効果に関する研究	蒋　　晨暁	塩入　　諭
両眼視差に基づく面形成過程に関する研究	笠井　慎平	塩入　　諭
オブジェクト方向知覚に関する視覚情報処理の研究	橋本耕太郎	塩入　　諭

応用情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
磁束量子伝送線路を用いた８×８ビットパラレル乗算器の集積化に関する研究	中本　涼介	中島　康治
擬似粒子運動モデルによる相互結合ニューロダイナミクスの解析と設計に関する研究	黒瀬　幸司	中島　康治

3．2　博士論文

電気・通信工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
抵抗変化型次世代半導体メモリの回路技術に関する研究	半澤　悟	羽生　貴弘
シリコン基板上エピタキシャルグラフェンチャネル電界効果型トランジスタに関する研究	姜　顯澈	尾辻　泰一

電子工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
超高キャリア濃度Ⅳ族半導体原子積層とその応用に関する研究	千葉　洋平	室田　淳一
プリズム結合型走査トンネル顕微鏡発光分光	JAMAL UDDIN AHAMED	上原　洋一
強磁性体薄膜における電気的磁化方向制御に関する研究	遠藤　将起	大野　英男
色素増感太陽電池用多孔質チタン対極の作製と評価に関する研究	MOHAMMAD MAKSUDUR RAHMAN	庭野　道夫
Si 基板上 3C-SiC 薄膜の熱改質によるエピタキシャルグラフェン形成とその高品質化に関する研究	半田　浩之	末光　眞希

情報基礎科学専攻

題　　目	著　者	指導教員
分散コンポーネントの連携による利用者生成型ソフトウェアに関する研究	酒徳　哲	木下　哲男
ユビキタス情報環境におけるネットワーク情報の分析法に関する研究	佐藤　彰洋	木下　哲男
マイクログリドの自律的な運用のためのマルチエージェントシステムに関する研究	HAK-MAN KIM	木下　哲男

第４章　受章・受賞

４．１　本年度の受章・受賞者

賞　名	氏　名	所属分野・部・センター	業　績
平成22年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 「若手科学者賞」	廣岡　俊彦	超高速光通信研究	時間領域光フーリエ変換を用いた超高速無歪み伝送技術の研究
平成22年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）	室田　淳一	ナノヘテロプロセス研究	大規模集積化対応IV族半導体CVD原子制御プロセスの研究
（財）新技術開発財団 第42回「市村学術賞」 貢献賞	羽生　貴弘	新概念VLSIシステム研究	不揮発性ロジックインメモリ集積回路の開発
平成22年春の叙勲 「紫綬褒章」	中沢　正隆	超高速光通信研究	光通信技術の発展に対する多大な貢献
IEEE Photonics Society Quantum Electronics Award	中沢　正隆	超高速光通信研究	For seminal contribution and leadership in the advancement of optical communications and fiber lasers through the invention of the compact erbium-doped fiber amplifier (EDFA)
電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ 論文賞	羽生貴弘 夏井雅典 鈴木大輔	新概念VLSIシステム研究	TMRロジックに基づくルックアップテーブル回路とその瞬時復帰可能FPGAへの応用
財団法人 富山県ひとづくり財団 とやま賞	吉田　真人	超高速光通信研究	周波数安定化レーザの開発とそのコヒーレント光多値伝送への応用
Society for Information Display(SID)　2010年国際シンポジウム Distinguished Paper for 2010 SID International Symposium	塩入　諭 松宮一道 松原和也	高次視覚情報システム研究	Control of Subjective Depth on 3-D Displays by a Quantified Monocular Depth Cue
日本ソフトウェア科学会 2009年度基礎研究賞	外山 芳人	コンピューティング情報理論研究	ソフトウェア基礎分野における顕著な業績
情報処理学会第72回 全国大会 大会奨励賞	赤池　洋俊	研究開発部ストレージ分野 IT21センター	HPC向けストレージの省電力化を図るアクセス予知階層ストレージの予知成功確率改善手法と効果の検証
2010年 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI （ISVLSI2010） Best Paper Award	羽生　貴弘 松本　敦 鬼沢　直哉 船崎　智義	新概念VLSIシステム研究	Accurate Asynchronous Network-on-Chip Simulation Based on a Delay-Aware Model
日本視覚学会 「ベストプレゼンテーション賞」	堀内　孝治	高次視覚情報システム研究	色の見えに関する空間的文脈効果における視覚的気づきの影響
IEEE Computer Society IEEE Standard Association Working Group Chair Awards	加藤　修三	ユビキタス通信システム研究	Contribution to the development of the standard, “IEEE802.15.3c TM -2009” （contributions to 60 GHz Standardization） published October 12, 2009

受章・受賞

賞　名	氏　名	所属分野・部・センター	業　績
第9回情報科学技術フォーラム(FIT2010) 「FIT2009 ヤングリサーチャー賞」	松本　敦	新概念VLSIシステム研究	「非同期式ネットワークオンチップの回路レベル検証環境の構築」の研究
国際シンポジウム「非線形理論とその応用」(NOLTA2010) Student Paper Award	黒瀬幸司	知的ナノ集積システム研究	“Analyses of Coupled Hindmarsh-Rose Type Bursting Oscillators”
応用物理学会フェロー	中沢正隆	超高速光通信研究	エルビウム光ファイバー増幅器の研究開発とその光通信への応用
日本ソフトウェア科学会 フェロー	大堀　淳	ソフトウェア構成研究	ソフトウェア科学の分野における発展に対して，特に貢献が顕著と認められる
応用物理学会　講演奨励賞	松坂俊一郎	半導体スピントロニクス研究	電子濃度の異なるn型GaAsにおけるスピンホール効果の評価
日本ソフトウェア科学会27回大会学生奨励賞 (学生セッション部門)	齋藤 啓太	ソフトウェア構成研究	「SML#コンパイラと連携したEclipseプラグインの試作 - コンパイラ内部機能のユーザへの提供に向けて -」に関する研究発表
日本音響学会聴覚研究会 研究奨励賞	池田　善敬	先端音情報システム研究	2010年10月開催の日本音響学会聴覚研究会において発表した「頭部運動感応型ダミーヘッド収音聴取における同期の様式が正中面音像定位に与える影響」が優れた発表として選定された
IEEE Sendai Section Student Awards 2010 「The Encouragement Prize」	今本　拓也	学際科学国際高等研究センター 遠藤哲郎研究室	平成22年度電気関係学会東北支部連合大会の「IEEE Student Section」での発表における、優れた研究内容に関して
IEEE Sendai Section Student Awards 2010 「The Best Paper Prize」	羅　炯竣	学際科学国際高等研究センター 遠藤哲郎研究室	「Base Pulse Characteristics of 2 Step Program Method with Over 1GHz」 平成22年度電気関係学会東北支部連合大会の「IEEE Student Section」での発表における最も優れた研究内容に関して
平成22年度石田記念財団 研究奨励賞	島津　武仁	研究開発部ストレージ分野 IT21センター	高密度ストレージデバイス用の高磁気異方性薄膜材料の開発
財団法人光産業技術振興協会 創立30周年記念功労者表彰	中沢　正隆	超高速光通信研究	ロードマップ作成事業および光ファイバ増幅器の研究開発とその光通信への応用における長年に亘る貢献
IEEE Communications Society IEEE Satellite Communications Award 2010	加藤　修三	ユビキタス通信システム研究	”Distinguished Contributions to Satellite Communications”
映像情報メディア学会 2010年度年次大会 優秀発表賞	青木　輝勝 松本　大輔	未来科学技術共同研究センター 研究開発部(デジタルコンテンツ創生・理解・流通工学)	オプティカルフローを用いた有害コンテンツ検出の一検討
株式会社リコー 「RICOH&Java Developer Challenge 2010」 準グランプリ	熊谷　一生	未来科学技術共同研究センター 研究開発部(デジタルコンテンツ創生・理解・流通工学)	青木輝勝准教授が監督を務める東北大学snopチーム(左記熊谷一生と工学部3年奥田遼介君から成るチーム)が、複合機を用いた新しい教育システムを提案・開発したことが高く評価されたもの
日本ソフトウェア科学会 第27回高橋奨励賞	上野　雄大	ソフトウェア構成研究	多相レコード計算に基づく軽量な第一級オーバーロードの設計と実装

賞　名	氏　名	所属分野・部・センター	業　績
第10回iアプリコンテストドコモカップ東北 アプリケーション部門 Androidコース グランプリ	熊谷　一生	未来科学技術共同研究センター 研究開発部（デジタルコンテンツ創生・理解・流通工学）	株式会社NTTドコモが主催する「第10回ドコモカップ東北の「アプリケーション部門Androidコース」において熊谷一生さん（青木准教授研究室）がグランプリを受賞
日本音響学会東北支部 優秀論文賞	神田　敬幸	先端音情報システム研究	平成22年度電気関係学会東北支部連合大会において発表した論文「空気伝導と骨伝導ヘッドホンを用いた空間定位音声了解度の比較」に対する表彰
電子情報通信学会 平成22年度学術奨励賞（第73回）	五明　克規	先端ワイヤレス通信技術	20-60GHz帯広帯域CMOSオンチップサスペンデッド結合バラン
(財) 電気通信普及財団・ 電気通信普及財団賞 第26回テレコムシステム技術学生賞	吉田　賢史	先端ワイヤレス通信技術	Radiation Characteristics of a Planar Monopole Antenna Integrated with a 60 GHz Band WPAN Module Using Organic Substrates
平成22年度東北大学総長賞	遠藤　将起	半導体スピントロニクス研究	博士論文「強磁性体薄膜における電気的磁化方向制御に関する研究」
平成22年度東北大学工学部長賞	吉田　泰大	学際科学国際高等研究センター 遠藤哲郎研究室	学部課程における優れた成績に関して
日本バーチャルリアリティ学会・フェロー	鈴木　陽一	先端音情報システム研究	バーチャルリアリティの学術芸術とその振興発展における顕著な業績
日本バーチャルリアリティ学会・フェロー	北村　喜文	情報コンテンツ研究	バーチャルリアリティの学術芸術とその振興発展における顕著な業績

４．２　学会フェロー一覧

国際学会

学　会　名	氏　名
IEEE	水野　皓司
IEEE	中村　慶久
IEEE	舛岡富士雄
IEEE	白鳥　則郎
IEEE	中沢　正隆
IEEE	村岡　裕明
IEEE	加藤　修三
OSA	伊藤　弘昌
OSA	中沢　正隆
アメリカ物理学会	潮田　資勝
アメリカ音響学会	鈴木　陽一
イギリス物理学会評議会	大野　英男

IEEE = The Institute of Electrical and Electronics Engineers
OSA = Optical Society of America

国内学会

学　会　名	氏　名
電子情報通信学会	水野　皓司
電子情報通信学会	中村　慶久
電子情報通信学会	伊藤　弘昌
電子情報通信学会	白鳥　則郎
電子情報通信学会	中沢　正隆
電子情報通信学会	杉浦　　行
電子情報通信学会	加藤　修三
情報処理学会	白鳥　則郎
映像情報メディア学会	沼澤　潤二
電子情報通信学会	中島　康治
応用物理学会	大野　英男
応用物理学会	室田　淳一
日本ソフトウェア学会	大堀　　淳
日本バーチャルリアリティ学会	鈴木　陽一
日本バーチャルリアリティ学会	北村　喜文

第５章　トピックス

記事名	掲載年月日	出典
強磁性形状記憶合金　メカニズムを解明 広島大・東北大など　物質設計の指針に アクチュエーター材で有望	2010年 4月27日	日刊工業
京セラキンセキ・東北大 水晶、金属原子で接合 プロジェクターなど　寿命延び透過性も向上	2010年 4月27日	日経産業
春の褒章677人・20団体 紫綬　東北大学教授（光通信工学）　中沢正隆 ネット社会発展に力	2010年 4月28日	河北新報
春の褒章　県内17人に　紫綬褒章　中沢さん 増幅器で光通信網実現	2010年 4月28日	朝日新聞
春の褒章　紫綬に中沢教授（光ファイバー増幅器開発）	2010年 4月28日	日経産業
科技振興機構が仏との共同研究 電磁波と胎児など4件	2010年 5月18日	日経産業
水晶部品の寿命延長 東北大と京セラ子会社　接合技術開発	2010年 5月19日	日経新聞
水晶部品の寿命延長　東北大などが接合技術	2010年 5月19日	日経電子版
京セラキンセキと東北大が成功 金属の原子使い水晶デバイス張り合わせ	2010年 5月20日	電波新聞
温室で水晶基板接合 京セラキンセキ山形と東北大が新技術 プロジェクター劣化防止	2010年 6月1日	河北新報
量子エレクトロニクス賞　東北大の中沢教授受賞	2010年 6月1日	日刊工業
水分子コーティング機能による３つの美肌効果を実証 肌の保湿／弾力性向上／キメが整う	2010年 6月4日	（株）シャープ ニュースリリース
室温で圧力掛けずにがっちり接合、わずか1nmの金属薄膜がウェハー同士を一体化	2010年 6月号	EE Times Japan電子版

産学連携　原子拡散接合法の水晶デバイスへの応用技術 京セラキンセキ／東北大学電気通信研究所二十一世紀情報通信研究開発センター 極めて薄い膜厚で高強度の接合に成功	2010 年 7 月 2 日	電波新聞
ＴＭＲ素子　大容量で不揮発性　東北大・日立が開発	2010 年 7 月 12 日	日刊工業
Nonvolatile logic chips harness magnetic tunneling	2010 年 7 月 12 日	EE Times europe
東北大グループ開発 磁気素子 省エネ高性能化　熱安定 10 年記録保持 小型・低コスト実用化に道	2010 年 7 月 14 日	河北新報
たのしい理科の話 2010 不思議の箱を開けよう　後編 授業内容：光の不思議に迫る 先生：東北大学電気通信研究所　片野諭助教	2010 年 8 月 7 日	河北新報
東北大研究グループ 脳の機能を解明　物体の動き　音で認識 学習 3 分効果 3 か月　止まっていても目が錯覚	2010 年 8 月 20 日	河北新報
音の影響で目も「錯覚」	2010 年 8 月 20 日	NHK 宮城県ニュース
音を聞くだけで物が動く？　脳が学習、視覚に長期影響― 映像に応用期待・東北大など	2010 年 8 月 20 日	時事通信社
音色で覚える物体の動き 脳は音と物体の動きの関係を超短時間で学習する	2010 年 8 月 20 日	東北大学 HP
東北大学など、視覚と聴覚の脳内での結びつきと学習速度に関する研究成果を発表	2010 年 8 月 20 日	日経電子版
図形が動く？音で錯覚　東北大など　米科学誌に発表	2010 年 8 月 20 日	読売新聞
音と光の連動、3 分注視…　音だけで光移動の錯覚 東北大など　AV に応用も	2010 年 8 月 23 日	日経産業
音だけで動いて見える？ 東北大など視覚・聴覚で実験	2010 年 8 月 24 日	日刊工業
東北大　ホームカミングデー 即興劇で新たな“風”未来へ向かう力アピール プロの演出家招き学生 12 人表現磨く	2010 年 9 月 10 日	河北新報
温室ガス減へ情報技術 東北大や NTT など実験	2010 年 10 月 14 日	読売新聞
行政サービス 遠隔地にも効率よく 自治体向けネット構築　東北大、栗原で実証実験へ	2010 年 10 月 14 日	河北新報

低炭素社会＋地域活性化 栗原市を舞台に東北大が実験へ	2010 年 10 月 14 日	朝日新聞
東北大や宮城・栗原市 IT 有効活用で連携　高齢化・環境対応を実験	2010 年 10 月 14 日	日経新聞
HDD、記録密度 5 テラビット（1 平方インチ当り） 現状の 10 倍　あす成果報告会	2010 年 10 月 28 日	電波新聞
次世代大容量ストレージ開発プロジェクト合同成果報告会 レポート	2010 年 11 月 2 日	PC Watch 電子版
人を守る電波センシング技術について	2010 年 11 月	計測技術 (日本工業出版)
日本人の感情、顔より声に 「オランダは逆」両国で研究	2010 年 12 月 3 日	朝日新聞
仙台市環境審 温室効果ガス 25%削減　基本計画の改定を答申	2010 年 12 月 21 日	毎日新聞
「みんなで見てさわれる 3D 映像」	2010 年冬号	東北大学広報誌 「まなびの杜」
微細化ディジタル CMOS 技術によって変わる RF／アナログ回路設計	2011 年 1 月	電気学会誌
JST サイエンスフォーラム開催 最先端研究者と直接対話 第 1 回　登檀者 東北大学省エネルギー・スピントロニクス 集積化システムセンターセンター長　大野英男氏	2011 年 2 月 2 日	日刊工業
東北大、占有帯域狭く 光通信、容量 10 倍　3 Dデータ効率よく伝送	2011 年 2 月 10 日	日刊工業
低速機器で高速光通信　動作速度 20 分の 1 に	2011 年 2 月 22 日	河北新報
東北大グループ栗原で実証 面積広い自治体　通信ネット有効 サービス向上　CO_2 排出量削減	2011 年 2 月 26 日	河北新報
El campus intercambia alumnos y conocimientos con Japón（The campus exchanges students and knowledge with Japan）	2011 年 2 月 26 日	Atlántico 新聞 （スペイン）
La universidades de Vigo y Tohoku intercambiarán docentes e investigadores （The universities of Vigo and Tohoku will exchange educational and investigators）	2011 年 2 月 26 日	Faro de Vigo 新聞（スペイン）
東北大 ハイビジョン映画、3 分で伝送 光通信速度 10 倍	2011 年 2 月 28 日	日経新聞

付録　教員の最終学歴（大学または大学院）

最　終　学　歴	教　授	准教授	講　師	助　教	計
東北大学	11	7		12	30
東京大学	1	2		0	3
九州大学	2				2
北海道大学	1	1			2
名古屋大学	2				2
東京工業大学	4	1		4	9
大阪大学	2	1		5	8
大阪府立大	1				1
米国ペンシルバニア大学	1				1
九州工業大学	1				1
京都大学		1		2	3
先端北陸科学技術大学院大学		1		1	2
サルフォード大学		1			1
室蘭工業大学		1			1
早稲田大学	1	1			2
福井大学				1	1
岐阜大学				2	2
神戸大学				1	1
会津大学				1	1
立命館大学				1	1
合　　計	27	17	0	30	74

教員の充足率

		教　　授	准教授及び講師	助　　教	計
2006.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	27	17	29	73
	充足率	**103.8%**	**73.9%**	**90.6%**	**90.1%**
2007.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	24	16	29	69
	充足率	**92.3%**	**69.6%**	**90.6%**	**85.2%**
2008.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	30	18	28	76
	充足率	**115.4%**	**78.3%**	**87.5%**	**93.8%**
2009.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	29	18	24	71
	充足率	**111.5%**	**78.3%**	**75.0%**	**87.7%**
2010.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	26	18	28	72
	充足率	**100.0%**	**78.3%**	**87.5%**	**88.8%**
2011.4.1 現在	定　員	**26**	**23**	**32**	**81**
	現　員	27	17	30	74
	充足率	**103.8%**	**73.9%**	**93.8%**	**91.4%**

付　録

構　　成　　員

（平成 23 年 2 月 1 日現在）

所長（併）・教授　　中沢　正隆

研究部門

情報デバイス研究部門

■ナノフォトエレクトロニクス研究室

教　授	上　原　洋　一
准教授（兼）	宮　下　哲　哉
助　教	片　野　　諭

■量子光情報工学研究室

教　授	枝　松　圭　一
教　授（兼）	中　尾　光　之
准教授	小　坂　英　男
准教授（兼）	片　山　統　裕
助　教	三　森　康　義

■固体電子工学研究室

教　授	末　光　眞　希
客員教授	豊　島　安　健
准教授（兼）	小　谷　光　司
助　教	吹　留　博　一
技術補佐員	三　浦　明　美

■誘電ナノデバイス研究室

教　授	長　　康　雄
教　授（兼）	梅　村　晋一郎
助　教	平　永　良　臣
〃	山　末　耕　平
技術職員（技術部）	我　妻　康　夫
研究支援者	岡　崎　紀　明
技術補佐員	江　馬　宗　子
〃	岩　井　敏　彦

■プラズマ電子工学研究室

教　授（兼）	安　藤　　晃
准教授（兼）	飯　塚　　哲

■物性機能設計研究室

教　授	白　井　正　文
教　授（兼）	田　中　和　之
助　教	三　浦　良　雄
〃	阿　部　和多加
講　師（兼）	和　泉　勇　治

■磁性デバイス研究室

客員教授	佐々木　雅　英
〃	本　田　耕一郎
〃	武　田　　淳

ブロードバンド工学研究部門

■超高速光通信研究室

教　授	中　沢　正　隆
特任教授	多　田　順　次
教　授（兼）	山　田　博　仁
〃　（〃）	松　浦　祐　司
准教授	廣　岡　俊　彦
准教授（兼）	大　寺　康　夫
助　教	吉　田　真　人
学振特別研究員	葛　西　恵　介
事務補佐員	篠　崎　頼　子

■応用量子光学研究室

教　授	八　坂　　洋
准教授	四　方　潤　一
准教授（兼）	渡　邉　高　志

■先端ワイヤレス通信技術研究室

教　授	末　松　憲　治

教　授（兼）	櫛　引　淳　一
助　教	亀　田　　卓
非常勤研究員	谷　藤　正　一

■情報ストレージシステム研究室

教　授	村　岡　裕　明
教　授（兼）	周　　暁
准教授	Simon GREAVES
助　教	三　浦　健　司
事務補佐員	渡　邊　智　絵

■超ブロードバンド信号処理研究室

教　授	尾　辻　泰　一
教　授（兼）	安　達　文　幸
准教授	末　光　哲　也
助　教	佐　藤　　昭
非常勤研究員	鷹　林　　将
〃	ボーバンガ トンベット
	ステファン アルボン
事務補佐員	上　野　佳　代

■ブロードバンド通信基盤技術研究室（客員）

客員教授	水　野　皓　司
〃	犬　竹　正　明
客員准教授	廣　畑　貴　文

人間情報システム研究部門

■生体電磁情報研究室

教　授	石　山　和　志
教　授（兼）	山　口　正　洋
〃　（〃）	濱　島　高太郎
准教授	杤　　修一郎
准教授（兼）	遠　藤　　恭
〃　（〃）	津　田　　理

■先端音情報システム研究室

教　授	鈴　木　陽　一
教　授（兼）	金　井　　浩
〃　（〃）	伊　藤　彰　則
准教授	岩　谷　幸　雄
准教授（兼）	長谷川　英　之
〃　（〃）	川　下　将　一
助　教	坂　本　修　一
技術職員（技術部）	齋　藤　文　孝
非常勤研究員	小　林　まおり
〃	崔　　正　烈
〃	寺　本　　渉
〃	岡　本　拓　磨
〃	姜　　大　基
事務補佐員	小野寺　美　紀

■高次視覚情報システム研究室

教　授	塩　入　　諭
教　授（兼）	吉　澤　　誠
准教授	栗　木　一　郎
准教授（兼）	本　間　経　康
助　教	松　宮　一　道
〃	徳　永　留　美
非常勤研究員	萩　谷　光　晴
〃	松　原　和　也
事務補佐員	今　野　亜　未

■先端情報通信領域創成室

教　授	玉　田　　薫
非常勤研究員	吉　田　晃　人
技術補助員	栗　原　郁　子

■ユビキタス通信システム研究室

教　授	加　藤　修　三
教　授（兼）	澤　谷　邦　男
准教授	中　瀬　博　之
准教授（兼）	陳　　強
助　教	沢　田　浩　和
技術補佐員	庄　子　友佳子
〃	佐　藤　洋　介
〃	藤　田　和　矢
〃	高　橋　俊　也
〃	相　沢　なお実
非常勤研究員	マトラム ローレンス
	ヤッセイ

■マルチモーダルコンピューティング研究室（客員）

客員教授	平　原　達　也
客員准教授	西　村　竜　一

システム・ソフトウェア研究部門

■ソフトウェア構成研究室

教　授	大　堀　　淳
教　授（兼）	小　林　直　樹
准教授（兼）	住　井　英二郎
助　教	上　野　雄　大
〃	森　畑　明　昌

■コンピューティング情報理論研究室

教　授	外　山　芳　人
教　授（兼）	静　谷　啓　樹
〃　（〃）	篠　原　　歩
〃　（〃）	大　町　真一郎
准教授	青　戸　等　人
准教授（兼）	酒　井　正　夫
助　教	菊　池　健太郎
事務補佐員	寒河江　香　子

■コミュニケーションネットワーク研究室

教　授	木　下　哲　男
教　授（兼）	斎　藤　浩　海
〃　（〃）	曽　根　秀　昭
〃　（〃）	乾　健　太　郎
准教授（兼）	水　木　敬　明

■情報コンテンツ研究室

教　授	北　村　喜　文
教　授（兼）	加　藤　　寧
〃　（〃）	菅　沼　拓　夫
准教授（兼）	青　木　輝　勝
〃　（〃）	阿　部　　亨

■情報社会構造研究室（客員）

客員教授	松　岡　　浩
客員教授	矢　野　雅　文
〃	白　鳥　則　郎
〃	川　上　　進
客員准教授	加　保　貴　奈
〃	チャクラボルティ・デバシシュ
非常勤研究員	高　橋　秀　幸
技術補佐員	菊　池　範　子
事務補佐員	守　屋　佳　織

寄附研究部門

■環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門

教　授	足　立　榮　希

附属研究施設

附属ナノ・スピン実験施設

施設長（併）	室　田　淳　一
教　授	
技術職員（技術部）	土　田　貞　夫
〃　（〃）	佐々木　龍太郎
非常勤研究員	目　黒　敏　靖
技術補佐員	小田切　節　子
事務補佐員	佐　藤　玲　子

■ナノヘテロプロセス研究室

教　授	室　田　淳　一
教　授（兼）	亀　山　充　隆
〃　（〃）	須　川　成　利
准教授	櫻　庭　政　夫
准教授（兼）	張　山　昌　論
非常勤研究員	千　葉　洋　平
事務補佐員	村　中　裕　美
〃	柳　沢　幸　枝

■半導体スピントロニクス研究室

教　授	大　野　英　男
教　授（兼）	高　橋　　研

教　授（兼）	佐　橋　政　司
准教授	大　野　裕　三
〃	松　倉　文　礼
准教授（兼）	角　田　匡　清
〃　（〃）	土　井　正　晶
〃　（〃）	齊　藤　　伸
助　教	大　谷　啓　太
非常勤研究員	松　坂　俊一郎

■ナノ分子デバイス研究室

教　授	庭　野　道　夫
教　授（兼）	畠　山　力　三
〃　（〃）	吉　信　達　夫
〃　（〃）	木　下　賢　吾
准教授	木　村　康　男
准教授（兼）	金　子　俊　郎
〃　（〃）	平　野　愛　弓
助　教	佐　藤　信　之
〃	青　沼　有　紀
事務補佐員	守　屋　佳　織

■ナノスピンメモリ研究室

教　授（兼）	田　中　　徹
〃　（〃）	安　藤　康　夫
〃　（〃）	遠　藤　哲　郎
准教授	池　田　正　二
准教授（兼）	大　兼　幹　彦

附属ブレインウェア実験施設

施設長（併）	中　島　康　治
教　授	

■実世界コンピューティング研究室

教　授（兼）	中　島　康　治
〃　（〃）	松　木　英　敏
〃　（〃）	石　黒　章　夫
准教授（兼）	佐　藤　文　博
助　教	牧　野　悌　也
〃	坂　本　一　寛

■知的ナノ集積システム研究室

教　授	中　島　康　治
教　授（兼）	川　又　政　征
准教授	佐　藤　茂　雄
准教授（兼）	阿　部　正　英
助　教	小野美　　武
事務補佐員	伊　藤　茉莉花

■マイクロアーキテクチャ研究室

教　授	桝　井　昇　一
非常勤研究員	イラニ モハマド ナウィ
事務補佐員	志　村　亜　矢

■新概念 VLSI システム研究室

教　授	羽　生　貴　弘
教　授（兼）	一ノ倉　　理
〃　（〃）	青　木　孝　文
准教授（兼）	中　村　健　二
〃　（〃）	本　間　尚　文
助　教	松　本　　敦
〃	夏　井　雅　典
非常勤研究員	鈴　木　大　輔
〃	鬼　沢　直　哉
〃	松　永　翔　雲
事務補佐員	平　塚　　愛

２１世紀情報通信研究開発センター

センター長（併）	村　岡　裕　明
教　授	
事務補佐員	新　田　正　人
〃	佐　藤　貞　志

■企画開発部

客員教授	古　西　　真

■研究開発部

▲モバイル分野

客員教授	坪　内　和　夫
〃	高　木　　直

技術補佐員	中　山　英　太
事務補佐員	橋　浦　尚　子

▲ストレージ分野

教　授	藤　本　和　久
客員教授	青　井　　基
〃	中　村　慶　久
教　授（兼）	高　梨　弘　毅
〃　（〃）	北　上　　修
准教授	島　津　武　仁
客員准教授	山　川　清　志
准教授（兼）	岡　本　　聡
助　教（兼）	菊　池　伸　明
技術補佐員	魚　本　　幸
事務補佐員	佐　藤　安由美
〃	穴　澤　知　美

安全衛生管理室

室　長（兼） 教　授	庭　野　道　夫
副室長（兼） 教　授	上　原　洋　一
助　教	佐　藤　信　之
事務補佐員	千　葉　綾　子

共通研究施設

■やわらかい情報システムセンター

センター長（兼） 教　授	鈴　木　陽　一
教　授（兼）	外　山　芳　人
〃　（〃）	木　下　哲　男
准教授	北　形　　元
助　教	笹　井　一　人
非常勤研究員	スベホルム　ヨハン レイフ　アーネ
技術補佐員	鈴　木　みどり
〃	長　瀬　祥　子

研究基盤技術センター

センター長（兼） 教　授	上　原　洋　一
技術専門員（兼） （技術長）	齋　藤　文　孝

■工作部

技術専門職員 （グループ長）	末　永　　保
技術一般職員	佐　藤　圭　祐
〃	阿　部　健　人
再雇用職員	渡　邉　博　志
〃	菅　原　宗　朋
〃	米　澤　隆　二

■評価部

技術専門職員 （グループ長）	庄　子　康　一
技術一般職員	阿　部　真　帆
再雇用職員	今　野　勇　治
〃	土　田　貞　夫
〃	我　妻　成　人

■プロセス部

技術専門職員 （グループ長）	齋　藤　文　孝
技術専門職員	寒河江　克　己
技術一般職員	佐々木　龍太郎
再雇用職員	田　久　長　一
〃	我　妻　康　夫

■ソフトウェア技術部

技術専門職員 （グループ長）	齋　藤　文　孝

事　　務　　部

事務長	佐　藤　　巖
事務長補佐	山　木　幸　一
庶務係長	高　橋　雄　志
主　　任	佐　藤　　佳
事務職員	菅　原　沙　織
再雇用職員	師　岡　ケイ子
事務補佐員	青　山　美弥子
〃	寺　島　弘　美
〃	伊　藤　智　恵
〃	渡　部　マ　イ
研究協力係長	加　藤　文　樹
主　任	山　崎　宏　美
事務補佐員	樋　渡　理　枝
〃	丸　田　嘉　昭
〃	笠　松　千　秋
図書係長	吉　植　庄　栄
事務補佐員	鈴　木　香代子
〃	足　立　遙　香

経理係長	清　野　　彰
主　　任	秩　父　啓　輔
事務職員	佐々木　志　保
事務補佐員	小　島　紫津子
〃	沓　澤　倫　子
〃	白　鳥　千亜紀
用度係長	田　村　光　則
主　　任	鈴　木　祐　利
事務職員	稲　毛　紘　明
再雇用職員	阿　部　良　勝
事務補佐員	川　北　久美子
〃	角　田　郁　子
〃	村　田　利　江
〃	三　島　　妙
〃	湊　　ひろみ
〃	齋　藤　由　華

ＩＴ２１センター事務室

事務室長	新　田　正　人
事務補佐員	佐　藤　貞　志

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第17号

2011年9月発行

発　行　者　　中　沢　正　隆

編　集　者　　東北大学電気通信研究所総務委員会
〒980-8577　仙台市青葉区片平二丁目1番1号

Ｔ　Ｅ　Ｌ　　０２２－２１７－５４２２

Ｆ　Ａ　Ｘ　　０２２－２１７－５４２６

wwwアドレス　　http://www.riec.tohoku.ac.jp/index-j.html

印　刷　所　　北日本印刷株式会社
〒984-0064 仙台市若林区石垣町35番6
TEL 022－224－7781　FAX 022－224－7783